

O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS VEÍCULOS LEVES E SUAS
IMPLICAÇÕES NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – CENÁRIOS
BRASILEIROS ENTRE 2000 E 2030

William Wills

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

Aprovada por:

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

Prof. Marco Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.

Dr. Amaro Olímpio Pereira Junior, D.Sc.

RIO DE JANEIRO - BRASIL

MARÇO DE 2008

WILLS, WILLIAM

O Aumento da Eficiência Energética nos Veículos Leves e suas Implicações nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Cenários Brasileiros entre 2000 e 2030. [Rio de Janeiro] 2008

vii, 155 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc, Planejamento Energético, 2008)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Eficiência Energética;
2. Veículos Leves;
3. Abatimento de Gases de Efeito Estufa;

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Agradecimentos

Agradeço ao CNPQ pelo auxílio financeiro que viabilizou este trabalho.

Agradeço ao Prof. Emilio Lèbre La Rovere pela sua valiosa orientação e por ter confiado no meu potencial ao longo dos últimos seis anos.

Agradeço a todos os demais professores do Programa de Planejamento Energético.

Agradeço aos ilustres membros da Banca de Avaliação por aceitar integrá-la.

Agradeço ao Dr. Francisco Eduardo Mendes por sua contribuição.

Agradeço aos colegas do Programa de Planejamento Energético (PPE), do Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima) e do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA).

Agradeço aos funcionários da COPPE/UFRJ pelos serviços prestados e, em particular, aos do PPE e do LIMA.

Agradeço a minha grande amiga, Fernanda Fortes Westin, por suas críticas, enorme ajuda e por todo o apoio e motivação no decorrer deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e irmãos pelo amparo, carinho e ajuda em todos os momentos.

Agradeço a Deus por tudo o que ele tem me proporcionado.

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

O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS VEÍCULOS LEVES E SUAS
IMPLICAÇÕES NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA CENÁRIOS
BRASILEIROS ENTRE 2000 E 2030

William Wills

Março/ 2008

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho analisa o impacto de um programa de eficiência energética para veículos leves no Brasil sobre as emissões de dióxido de carbono (CO₂), principal gás de efeito estufa, na atmosfera. Foram analisados diversos programas de eficiência veicular em todo o mundo. Verificou-se que a União Européia e o Japão são os países com as metas de eficiência, ou de emissões de CO₂, mais restritivas. O Brasil vive um momento muito propício para a implementação de um programa deste tipo, e diversos benefícios foram apontados no decorrer deste estudo. Foram criados três cenários para o Brasil entre os anos 2000 e 2030, o primeiro sem nenhuma meta de eficiência, o segundo com as metas japonesas aplicadas aqui com 10 anos de atraso, e o terceiro com as metas japonesas aplicadas sem nenhum atraso. As conseqüências de um programa de eficiência veicular e seus efeitos de médio e longo prazo sobre o consumo de energia e sobre as emissões de CO₂ são quantificados e discutidos. Os resultados das simulações indicam que metas de eficiência poderiam contribuir de maneira importante para reduzir as emissões veiculares e o consumo de combustíveis no Brasil.

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

THE INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY IN LIGHT VEHICLES AND IT'S
CONSEQUENCES TO THE GREENHOUSE GASES EMISSIONS – BRAZILIAN
SCENARIOS BETWEEN 2000 AND 2030

William Wills

March/ 2008

Advisor: Emilio Lèbre La Rovere

Department: Energy Planning

This dissertation analyses the impact of an energy efficiency program for light vehicles in Brazil regarding the carbon dioxide (CO₂), main gas of the greenhouse effect, in the atmosphere. Several energy efficiency programs for light vehicles have been analyzed around the world. It was seen that Japan and Europe currently lead, and will continue to lead, the world in controlling GHG emissions and fuel consumption from passenger vehicles. Brazil has now a very favorable moment for the implementation of such a program, and several benefits have been pointed out in the course of this study. Aiming the period between the years 2000 to 2030 three scenarios have been created for Brazil, the first with no efficiency goal, the second with the Japanese goals applied here with a ten year delay, and the third one, with the Japanese goals applied with no delay. The consequences of a vehicular efficiency program and its middle and long term effects over the consumption of energy and the CO₂ emissions have been quantified and discussed. The simulation results indicate that efficiency goals could contribute importantly to reduce vehicular emissions and the consumption of fuels in Brazil.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 – O Uso da Energia – Breve histórico.....	4
2.1.2 – O Uso de Energia no Setor de Transportes.....	7
2.2 – Efeito Estufa.....	12
2.2.1 – Observações diretas da recente mudança do clima.....	23
2.2.2 – Ações para o controle dos GEEs.....	33
3. ESTADO DA ARTE DOS PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA VEÍCULOS LEVES.....	42
3.1 – A Experiência Internacional nos Programas de Eficiência Energética para Veículos Leves.....	45
3.1.1 – União Européia.....	47
3.1.2 – Japão.....	53
3.1.3 – China.....	55
3.1.4 – Estados Unidos.....	57
3.1.5 – Califórnia.....	64
3.1.6 – Canadá.....	67
3.1.7 – Coreia do Sul.....	74
3.1.8 – Austrália.....	76
3.1.9 – Taiwan.....	78
3.2 – Comparação dos Programas de Eficiência para Veículos Leves no Mundo....	78
3.3 Programa Brasileiro de Eficiência Veicular.....	83
3.3.1 – Antecedentes e marco legal.....	83
3.3.2 – Moldes para um Programa Brasileiro de Eficiência Veicular.....	89
3.3.3 – Considerações finais.....	95
4. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EMISSÃO DE CO ₂ DOS VEÍCULOS LEVES NO BRASIL.....	97
4.1 – A Construção de Cenários.....	97
4.1.1 – Objetivo.....	97
4.1.2 – Metodologia.....	99
4.1.3 Determinantes das Emissões do Setor de Transportes.....	101
4.2 – Caracterização dos Cenários Propostos.....	103
4.3 – Metodologia para Estimativa de Consumo de Combustíveis por Veículos Leves.....	105

4.3.2 – Evolução das Vendas.....	106
4.3.3 – Curva de Sucateamento	106
4.3.4 – Distribuição do Consumo por Tipo de Combustível.....	107
4.3.5 – Quilometragem Percorrida	109
4.3.6 – Percentual de Álcool Anidro Misturado na Gasolina C	110
4.3.7 – Eficiência Média dos Veículos Novos	110
5. RESULTADOS	115
5.1 – Evolução da Frota Brasileira e da Quilometragem Percorrida.....	115
5.2 – Resultados do Cenário A (Linha de Base)	119
5.3 – Resultados do Cenário B (Moderado)	123
5.3 – Resultados do Cenário C (Otimista).....	126
5.4 – Comparação dos Cenários A, B e C	130
5.5 – Análise de Sensibilidade.....	136
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	142
6.1 – Conclusões.....	142
6.2 – Recomendações	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXO 1	155

1. INTRODUÇÃO

O aumento do efeito estufa é um dos principais assuntos em pauta hoje nas discussões mundiais. A discussão do problema do aquecimento global abrange suas possíveis causas e conseqüências, quem são os responsáveis pelo aquecimento e quais são as medidas que devem ser tomadas pelos países para diminuir os impactos negativos desse fenômeno.

A queima de combustíveis fósseis em todo mundo é a principal causa das emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito estufa. O setor de transportes é, entre as fontes de emissão de gases de efeito estufa, a que cresce mais rapidamente, muitas vezes em uma taxa superior ao produto interno bruto dos países em desenvolvimento (SCHIPPER & MARIE-LILLIU, 1999 *apud* Mattos, 2001).

A utilização de veículos leves mais eficientes, em conjunto com outras medidas (transporte coletivo, etc), pode possibilitar uma significativa economia de combustível e uma conseqüente redução nas emissões de gases de efeito estufa.

Para a escolha de estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, é importante simular a participação do setor de transportes nessas emissões através de cenários.

Este estudo pretende mostrar como um programa de eficiência energética para veículos leves pode reduzir significativamente as emissões de dióxido de carbono.

Foram analisados, então, os principais programas de eficiência veicular ao redor do mundo.

Verificou-se que o Brasil vive um momento muito propício para a implementação de um programa deste tipo, e diversos benefícios foram apontados no decorrer deste estudo.

Metas de eficiência para veículos leves foram propostas para o Brasil, e para quantificar os seus efeitos no consumo de energia e nas emissões de CO₂, foram criados três cenários para a frota brasileira, entre os anos 2000 e 2030.

Com os resultados obtidos na simulação pode-se discutir com mais propriedade sobre as conseqüências da implementação de um programa de eficiência energética para veículos leves no Brasil.

O documento está dividido em seis capítulos, índice, referências bibliográficas e um anexo.

O Capítulo 1 apresenta uma Introdução que está dividida nos seguintes sub-itens: Importância do Tema, Objetivo do Trabalho e Organização do Trabalho.

O Capítulo 2 fornece uma visão ampla do efeito estufa, descrevendo o sistema climático, o fenômeno do efeito estufa e os principais gases que contribuem para o aquecimento global. Este capítulo ainda estabelece os principais impactos esperados, segundo IPCC (2007).

O Capítulo 3 analisa a experiência internacional nos programas de eficiência energética para veículos leves, faz uma comparação dos principais programas adotados atualmente, e analisa o Programa Brasileiro de Eficiência Veicular, que deve ser posto em prática até o final de 2008.

O Capítulo 4 mostra a importância do uso de cenários para os profissionais da área de planejamento. Três cenários são propostos para o Brasil entre os anos 2000 e 2030, o primeiro sem nenhuma meta de eficiência, o segundo com as metas japonesas aplicadas aqui com 10 anos de atraso, e o terceiro com as metas japonesas aplicadas sem nenhum atraso. O modelo utilizado para a simulação dos cenários também é apresentado.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos na simulação entre os anos 2000 e 2030. São apresentados os valores da frota e quilometragem, ano a ano. O consumo de energia, as emissões de CO₂, e o fator de emissão de CO₂ médio da frota (gCO₂/km) também são calculados e apresentados para cada cenário. Os resultados dos cenários são então comparados e discutidos. É feita também uma análise de sensibilidade quanto à taxa de crescimento das vendas de veículos novos, o que influencia diretamente na frota circulante, quilometragem percorrida, consumo de energia e conseqüentemente nas emissões de CO₂. São apresentados os resultados deste novo grupo de cenários, e é feita uma comparação com o grupo de cenários anterior.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões deste estudo e algumas recomendações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – O Uso da Energia – Breve histórico

Entre todas as atividades desenvolvidas pelo homem, as que causam mais impacto para o meio ambiente são a produção e o uso da energia. Todas as formas de energia apresentam algum tipo de impacto ambiental, mesmo aquelas consideradas ‘energias alternativas às tradicionais’, tais como a energia eólica (que podem poluir visualmente e sonoramente além de interferir na rota de pássaros) e a energia solar (que produz alterações no microclima¹ local quando utilizada em grandes áreas), por exemplo.

De acordo com GOLDEMBERG (1991) *apud* MATTOS (2001), o crescimento do consumo de energia pelo homem aumentou quase 120 vezes, comparando-se o homem primitivo com o americano médio (do começo da década de 90). Antes, utilizava-se principalmente a energia originada pelas fontes do trabalho humano, e posteriormente, se passou a utilizar o trabalho animal. Com a Revolução Industrial (século XXI) utilizando máquinas em grande escala tanto nas fábricas como no transporte de pessoas e de carga, houve um grande acréscimo do consumo de energia *per capita*, o equivalente a 40 vezes mais que o homem primitivo. Na tabela 2.1 é possível verificar a evolução deste consumo.

¹ Microclima - Condição climática de uma pequena área resultante das mudanças climáticas gerais, por diferenças locais em elevação ou exposição (LIMA-E-SILVA, 1999 *apud* MATTOS, 2001).

Tabela 2.1 – Histórico do consumo de energia *per capita* nos diferentes setores.

	Consumo de energia por atividade (Kcal/dia)				
	Alimentação	Uso Doméstico	Indústria e agricultura	Transporte	Total
Homem primitivo (1.000.000 a.C.)	2.000	-	-	-	2.000
Homem nômade (100.000 a.C.)	3.000	2.000	-	-	5.000
Agricultura primitiva (6.000 a.C.)	4.000	4.000	4.000	-	12.000
Agricultura avançada (1.400 d.C.)	6.000	12.000	7.000	1.000	26.000
Homem industrial (1.875 d.C.)	7.000	32.000	24.000	14.000	77.000
Americano médio (1990)	10.000	68.000	91.000	63.000	232.000

Fonte: GOLDEMBERG (1991) *apud* MATTOS (2001).

Com o crescimento do consumo de energia *per capita*, cresceram também os fatores decorrentes da sua produção e utilização e, atualmente o transporte é um fator da maior importância no consumo de energia: ele consome em torno de 30% da energia total utilizada por um americano médio no começo da década de 90.

Apesar de ser fato que, para o desenvolvimento econômico e a melhoria do bem-estar, é necessário consumir energia, é fato também que se deve buscar o seu uso racional, para que seja possível reduzir as consequências negativas de sua utilização, pois as evidências da degradação ambiental ficaram mais aparentes a partir da década de 1970, ao combinarem-se diversos fatores de alteração da qualidade ambiental.

Com o crescimento da população humana mundial houve um incremento lento da produção e do consumo de energia e em seguida, após a Revolução Industrial, um rápido aumento. Esse incremento implicou na maior combustão de fontes fósseis de energia, a qual é responsável pelas emissões de poluentes atmosféricos.

Tais emissões geram impactos ambientais em nível global (por exemplo, com a emissão de CO₂ provocando o aumento do efeito estufa que acarreta mudanças climáticas), regional (como chuvas ácidas causadas pela emissão de dióxido de enxofre (SO₂) e óxido nitroso (N₂O)) e local, contribuindo para a poluição do ar das cidades através de emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e materiais particulados (MP)), sendo os principais responsáveis pelos problemas de saúde da população nas grandes cidades segundo a CETESB (2005).

Deve ser ressaltado que a temperatura da atmosfera depende não somente dos gases que contribuem para seu aquecimento, mas também da presença de aerossóis, substâncias que ora atuam como refrigerantes como aerossóis de sulfato ora como aquecedores como, por exemplo, a fuligem.

Contudo, o presente estudo enfocará as emissões de CO₂, que é considerado o principal Gás de Efeito Estufa (GEE), destacando o setor de transportes como o maior responsável pela emissão deste gás nos grandes centros urbanos.

2.1.2 – O Uso de Energia no Setor de Transportes

No mundo atual, o setor de transportes é uma das mais importantes forças motrizes da economia, pois permite que pessoas, bens e serviços se movimentem seja nas cidades, nos estados, nos países e/ou no mundo, contribuindo para o crescimento econômico.

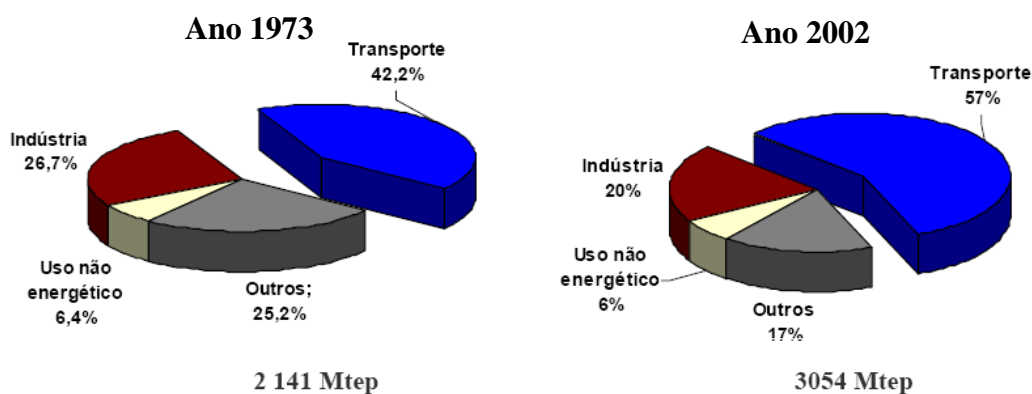
Com relação a sua importância econômica, deve-se considerar que o valor adicionado à economia pelo setor de transportes é estimado entre 3 a 5% do Produto Interno Bruto - PIB de um país. Os investimentos são da ordem de 2 a 2,5% do PIB, chegando a até 3,5% quando os países modernizam as infra-estruturas ou quando aplicam em novas infra-estruturas para os transportes. O crescimento da demanda pelo transporte de passageiros e de carga, na maioria dos países em desenvolvimento, é de 1,5 a 2 vezes mais rápido que o do PIB, sendo que a maior parte deste crescimento é no transporte rodoviário, potencializando os problemas ambientais. “O setor de transportes representa de 5 a 8% do total pago aos trabalhadores” (WORLD BANK, 2000 *apud* MATTOS, 2001).

O crescimento deste setor muitas vezes acontece de forma desordenada, o que causa diversos impactos ambientais locais, regionais ou até mesmo globais. As principais preocupações com os transportes são relativas aos custos relacionados à segurança, à poluição (do ar, da água e sonora), à competição pelo espaço urbano e aos riscos associados ao problema de desabastecimento de petróleo e derivados. Por ser imprescindível para o desenvolvimento da economia, o seu crescimento deve ser feito de maneira planejada, visando minimizar os impactos causados ao meio ambiente.

Os energéticos predominantes nos meios de transporte continuam sendo os derivados de petróleo (como gasolina e óleo diesel), apesar de no Brasil haver um amplo uso do álcool etílico, tanto como combustível exclusivo quanto como combustível misturado com derivados de petróleo como a gasolina. Tem havido também um aumento do uso de gás natural veicular, principalmente em veículos leves de uso intensivo (táxis e frotas cativas) em grandes centros urbanos.

Dessa forma, e com este dinamismo, este setor é, na maioria dos países, o maior consumidor de petróleo e sua participação vem aumentando ainda mais ao longo das últimas décadas, como se pode observar na figura 2.1 abaixo:

Figura 2.1 – Gráficos da distribuição do consumo de derivados de petróleo (Mtep) por setor – países membros da IEA -1973 e 2002 - (%)



*Outros: Agricultura, comércio e serviço público, residencial e outros não especificados.

Fonte: IEA (2004).

Em 1973, o setor de transportes representava 42,2% no consumo de derivados de petróleo dos países membros da IEA, num total de 2.141 Mtep. Em 2002, o consumo total de óleo totalizou 3.054 Mtep e a participação dos transportes aumentou para 57,2% (IEA, 2004).

Na figura 2.1 acima é possível se verificar que a participação do setor industrial diminuiu de 26,7 % para 20,1% e do setor não energético de 6,4% para 6%, no período considerado (IEA, 2004).

Segundo o EIA (2003), o departamento de energia dos EUA apresenta projeções que, sendo utilizadas como parâmetro, mostra que o consumo total de energia dos países membros da IEA deve crescer de 2,45 bilhões de tep para 3,28 bilhões de tep, entre 2001 e 2020, um aumento anual de 1,5%. A maior taxa de crescimento neste período é apresentada pelo setor de transportes (2,0%) como consequência, principalmente, do aumento da quilometragem percorrida por veículo e de índices de eficientização relativamente baixos, destacando-se que nos países em desenvolvimento este fator pode ser ainda mais impactante dado um aumento significativo da renda ou na distribuição de renda. Sendo assim, “o consumo do setor de transportes (1,11 bilhões de tep) praticamente se equipararia com o consumo industrial (1,12 bilhões de tep), já os outros setores apresentam participações e crescimentos mais modestos” (EIA, 2003).

Devido aos danos causados à saúde e ao bem-estar da humanidade, a questão ambiental adquire cada vez maior relevância. Evidencia-se que a emissão de gases poluentes, em grande parte por consequência da queima de combustíveis fósseis pelos transportes, é causadora das chuvas ácidas e da nuvem de poluição urbana, além dos GEEs, entre eles o dióxido de carbono, que se acumulam rapidamente na atmosfera causando o aquecimento

global. Prova disso é que, conforme afirma IPCC (2007), desde a revolução industrial o nível de dióxido de carbono aumentou 31% e o nível de metano aumentou 151% na atmosfera.

Pode ser observado que em 2002 as emissões de CO₂ provenientes do petróleo representavam 41,8% do total (2.4102 Mt), acima das emissões de carvão (37,5%) e de gás (20,4%). Além disso, o setor de transportes é o que mais rapidamente tem aumentado suas taxas de emissões e deve apresentar um crescimento de 2% ao ano, no período de 2001 a 2025. Isto porque a ampliação no uso dos diversos modais, como o trem e o avião, será parcialmente compensada por ganhos de eficiência, mas isso não ocorrerá no caso dos veículos de passageiros, que terão uma eficiência apenas ligeiramente acima dos níveis apresentados em 2001 (EIA, 2003).

As emissões automotivas, que serão o foco deste estudo, podem ser divididas nas seguintes categorias:

- Emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo (subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento, em particular serão estudadas as emissões de CO₂ nesta dissertação);
- Emissões evaporativas de combustível (lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível);
- Emissões de gases do cárter do motor (subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante);
- Emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem;
- Re-suspensão de partículas de poeira do solo e

- Emissões evaporativas de combustível nas operações de transferência de combustível (associadas ao armazenamento e abastecimento de combustível).

No tópico 2.2 a seguir serão detalhadas as consequências das emissões de CO₂ na atmosfera, que resultam no efeito estufa.

2.2 – Efeito Estufa

O matemático francês Jean-Baptiste Fourier foi quem primeiramente observou o efeito estufa, em 1827. Ele comparou a cobertura de gases da atmosfera com os vidros de uma estufa de plantas e sugeriu que esse efeito (estufa) mantinha a Terra mais quente do que seria normalmente sem ele. Fourier também sugeriu que o clima natural poderia ser modificado pelas atividades humanas. Em 1860, John Tyndall foi o cientista seguinte a discutir o assunto. Ele mediu a absorção de radiação infravermelha pelo dióxido de carbono (CO_2) e vapor d'água (H_2O) e a influência destes gases sobre o efeito estufa. Em 1896, o passo seguinte foi dado pelo químico Svante Arrhenius, que publicou um estudo relacionando o efeito na temperatura média global com a duplicação na concentração natural de dióxido de carbono no ar (GRIBBIN, 1990 *apud* RIBEIRO, 2003).

Medindo-se a concentração de dióxido de carbono nas geleiras das calotas polares, com base nos chamados “testemunhos de gelo” de milhares de anos, é possível comprovar que a presença desse gás vem aumentando na atmosfera de forma acentuada nesses dois últimos séculos, sendo capaz de intensificar o efeito estufa e de modificar as condições climáticas do planeta. Este aumento da concentração de dióxido de carbono ocorre simultaneamente com o aumento da emissão de outros gases provenientes de atividades humanas.

As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono (devido ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra, tendo este último fator causado uma parcela significativamente menor), e de metano e óxido nitroso (principalmente devido à agricultura e à fermentação anaeróbica de resíduos) aumentaram bastante devido às

atividades humanas, portanto, sendo denominados esses gases de ‘GEEs antropogênicos’ (GRIBBIN, 1990 *apud* RIBEIRO, 2003).

De acordo com EEA/4 (2006) *apud* DUBEUX (2007), “os problemas ambientais cujas relações entre mudança climática e poluição atmosférica já estão conhecidas são a acidificação, a eutrofização², a formação de ozônio troposférico e a poluição atmosférica urbana”. A ocorrência dessas relações é devida a que o mesmo processo de combustão que gera emissões dos principais GEEs que interferem no clima do planeta, também está associado a vários efeitos adversos na saúde humana, nos ecossistemas, na produtividade agrícola e em materiais diversos provocados pelos gases já citados anteriormente, o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado em suspensão (MP) e o monóxido de carbono (CO), além dos compostos orgânicos voláteis (COV) e do ozônio (O₃)³. Dessa forma, deve-se implementar as medidas que visam reduzir o consumo de combustíveis fósseis, visando a diminuição da poluição atmosférica local, regional e global (efeito estufa).

Na verdade, o efeito estufa atua na atmosfera da Terra há bilhões de anos devido a gases que ocorrem naturalmente. No entanto, este efeito pode ser intensificado. Qualquer fator que altere a radiação recebida do sol ou a radiação enviada de volta para o espaço, ou que altere a redistribuição da energia dentro da atmosfera e entre a atmosfera, a terra e os

² A eutrofização é também um problema de poluição regional (e algumas vezes local) bastante grave e se constitui em um forte enriquecimento dos ecossistemas por nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo. NO_x e NH₃ também contribuem para a eutrofização.

³ Produto da reação de gases precursores na presença da luz. Os precursores de ozônio são uma classe de compostos orgânicos que combinados com óxidos de nitrogênio e raios ultravioleta formam ozônio. Os Sistemas de Informações Aerométricas da EPA contabilizam as emissões de 56 destes compostos.

oceanos, pode afetar o clima. A eficiência com que a Terra se resfria é reduzida pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa. O aquecimento depende do aumento da concentração de cada gás de efeito estufa, das propriedades radiativas dos gases envolvidos e das concentrações de outros gases de efeito estufa já presentes na atmosfera.

A Figura 2.2 a seguir, mostra a dinâmica do efeito estufa, fenômeno causado pela presença destes principais gases na atmosfera.

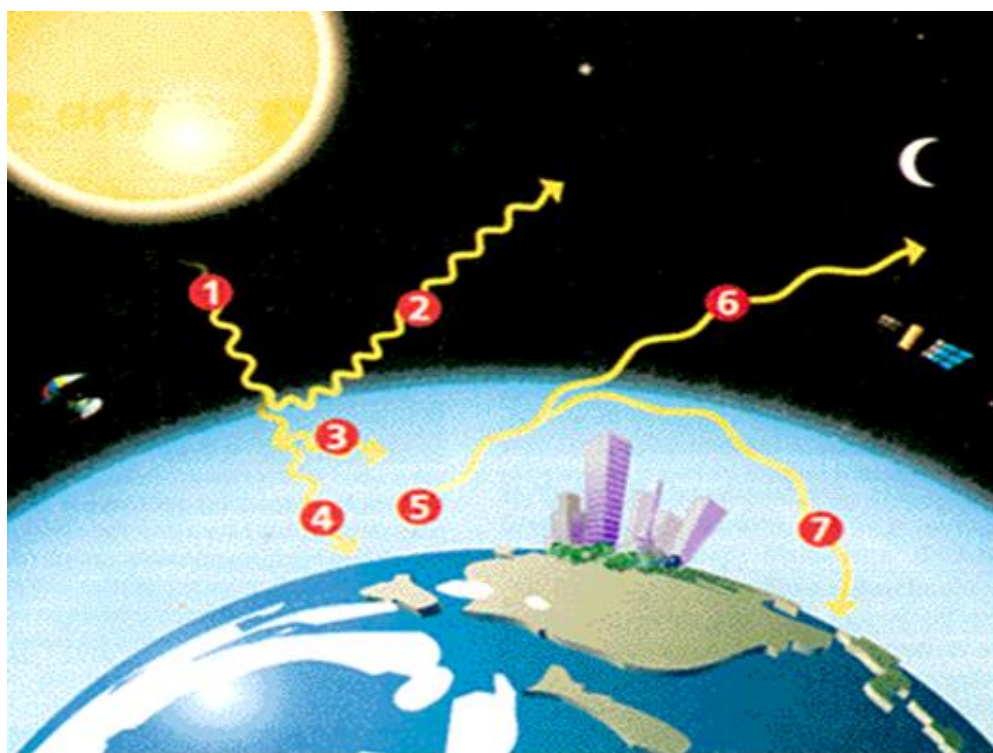


Figura 2.2 - Esquema de funcionamento do Efeito Estufa

Fonte: <http://www.nccnsw.org.au/member/cipse/context> apud DUBEUX, 2007

O esquema ilustrado na figura pode ser descrito da seguinte forma: o ítem (1) considera que a energia vinda do sol tem uma parte que alcança a atmosfera terrestre é refletida de volta ao espaço (2), enquanto que a energia na faixa dos menores comprimentos de onda é

absorvida pela camada de ozônio (3). A energia do sol que alcança a superfície da Terra a aquece (4), e esta, por sua vez, irradia energia (em comprimentos de onda maiores) (5). A atmosfera retém parte dessa energia (graças à presença de gases de efeito estufa na mesma), não permitindo que ela escape de volta para o espaço (6), permitindo, então, que a temperatura da superfície da Terra seja de 15°C em média: caso contrário, seria de -17°C. Dessa forma o aprisionamento de parte desta energia de maior comprimento de onda contribui para manter a Terra aquecida (7), dando origem ao chamado efeito estufa.

Vale lembrar que, além do dióxido de carbono, são definidos pelo Protocolo de Quioto outros GEEs, tais como o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonetos (HFCs), os Perfluorcarbonetos (PFCs) e o Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)⁴.

A Figura 2.3 a seguir, exhibe as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso correspondentes aos últimos 10.000 anos (gráfico dos painéis grandes) e desde 1750 (gráfico dos painéis inseridos).

⁴ Os clorofluorcarbonetos (CFCs) são, também, gases que contribuem para o aumento do efeito estufa. mas como afetam a camada de ozônio, são controlados pelo Protocolo de Montreal e não pela Convenção do Clima.

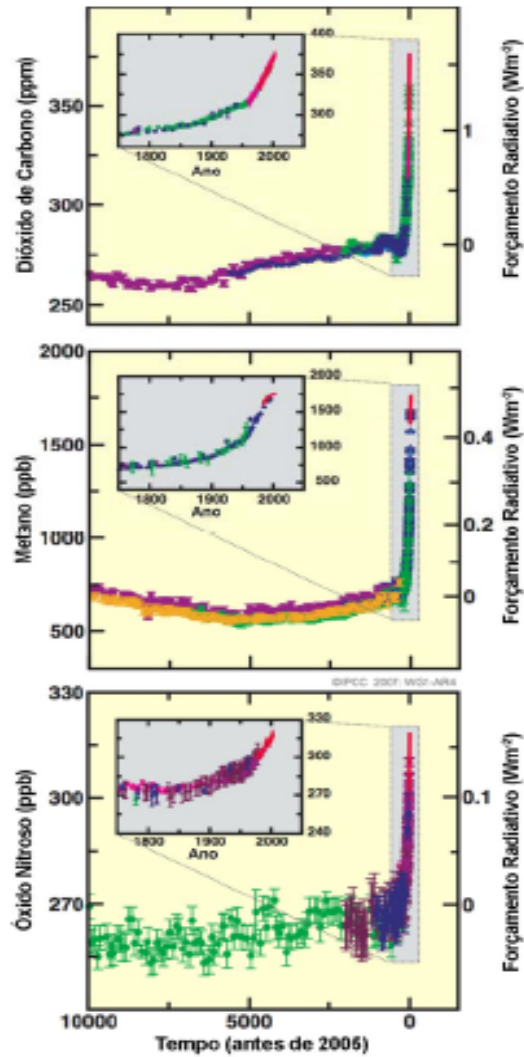


Figura 2.3 – Gráficos das mudanças nos Gases de Efeito Estufa a partir de Dados de Testemunho de Gelo e Dados Modernos

Fonte: IPCC (2007 b).

Observa-se que as medições foram obtidas a partir de testemunhos de gelo (representados por símbolos com diferentes cores para os diferentes estudos) e amostras atmosféricas (representadas pelas linhas vermelhas). Já os chamados forçamentos radiativos (cujo conceito é descrito a seguir) correspondentes são mostrados nos eixos do lado direito dos painéis grandes.

O *forçamento radiativo* é uma medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia que entra e sai do sistema Terra-atmosfera e é um índice da importância do fator como possível mecanismo de mudança do clima. O forçamento positivo tende a aquecer a superfície, enquanto o forçamento negativo tende a esfriá-la. Neste relatório, os valores do forçamento radiativo são para 2005, relativos às condições pré-industriais definidas em 1750, e são expressos em watts por metro quadrado (Wm^{-2}), (IPCC, 2007 b).

A tabela 2.2 apresenta a evolução das concentrações médias dos principais GEEs que se misturam bem na atmosfera, a evolução da taxa de concentração (ppb/ano) e tempo de vida (anos).

Tabela 2.2 - Concentração atmosférica global e tempo de vida na atmosfera (anos) de GEE.

Variável Atmosférica	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppb)	N ₂ O (ppb)	SF ₆ (ppt)	CF ₄ (ppt)
Concentração atmosférica pré-industrial	278	0,700	0,270	0	40
Concentração Atmosférica (1998)	365	1.745	0,314	4,2	80
Concentração Atmosférica (2005)	379	1.774	319	-	-
Tempo de vida na atmosfera	50-200(a)	12(b)	114	3,200	> 50,000

^(a) O tempo de vida não pode ser definido para CO₂ por causa das diferentes taxas de sequestro dos vários processos de remoção; e

^(b) Este tempo de vida foi definido como um “tempo ajustado” que leva em consideração o efeito indireto do gás em seu próprio tempo de permanência.

Nota: HFCs, PFCs, SF₆, CFCs e halons são gases sintéticos e não existiam na atmosfera antes do século XX. CF₄, um PFC, foi detectado em núcleos de gelo sugerindo haver fontes naturais extremamente pequenas.

Fonte: Adaptado de IPCC (2001) e IPCC (2007).

O IPCC (2007) apresenta alguns dados que comprovam as mudanças ocorridas com relação ao clima desde o período pré-industrial até a atualidade, conforme comentado nos tópicos a seguir referentes aos efeitos dos principais GEEs:

- Dióxido de carbono (CO₂):

Em 2005 a concentração atmosférica global de CO₂ ultrapassou em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), conforme mostra a tabela 2.2. Durante os últimos 10 anos, a taxa de aumento da concentração anual de dióxido de carbono foi mais elevada (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano a outro nas taxas de aumento. Desde o período pré-industrial a principal fonte de aumento da concentração atmosférica deste gás é proveniente das emissões fósseis anuais⁵, mostradas com suas respectivas faixas de incerteza⁶ a seguir, aumentaram de uma média de 6,4 [6,0 a 6,8] Gt C (23,5 [22,0 a 25,0] Gt CO₂) por ano na década de 90 para 7,2 [6,9 a 7,5] Gt C (26,4 [25,3 a 27,5] Gt CO₂) por ano no período de 2000 a 2005 (os dados de 2004 e 2005 são estimativas provisórias), a exemplo das emissões decorrentes da produção, distribuição e consumo de combustíveis fósseis e as que são subprodutos da produção de cimento.

⁵ A emissão de 1 GtC corresponde a 3,67 GtCO₂.

⁶ Em geral, as faixas de incerteza para os resultados apresentados são intervalos de 90% de incerteza, a menos que definido de outro modo, ou seja, há uma probabilidade estimada de 5% de que o valor possa estar acima da faixa apresentada entre colchetes e 5% de probabilidade de que o valor possa estar abaixo dessa faixa. Quando disponíveis, são apresentadas as melhores estimativas. Os intervalos de incerteza avaliados não são sempre simétricos em relação à melhor estimativa correspondente. Observe-se que uma série de faixas de incerteza do TRA do Grupo de Trabalho I corresponde a 2 desvios padrão (95%), freqüentemente com base na opinião de especialistas (IPCC, 2007).

As emissões relacionadas com a mudança no uso da terra são estimadas em 1,6 [0,5 a 2,7] Gt C (5,9 [1,8 a 9,9] Gt CO₂) por ano na década de 90, embora essas estimativas apresentem uma grande incerteza.

- Metano (CH₄):

A tabela 2.2 apresenta a evolução da concentração atmosférica global de metano em seu valor pré-industrial e o valor de 2005, mostrando que ultrapassou em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (320 a 790 ppb). Desde o início da década de 90 as taxas de aumento diminuíram de forma condizente com o total de emissões (soma das fontes antrópicas e naturais), ficando aproximadamente constantes durante esse período.

De acordo com o IPCC (2007), “É muito provável⁷ que o aumento observado da concentração de metano se deva às atividades antrópicas, predominantemente a agricultura e o uso de combustíveis fósseis, mas as contribuições relativas de diferentes tipos de fontes não estão bem determinadas”.

⁷ Os seguintes termos foram usados para indicar a probabilidade avaliada, com base na opinião de especialistas, de uma consequência ou resultado: *praticamente certo* > 99% de probabilidade de ocorrer, *extremamente provável* > 95%, *muito provável* > 90%, *provável* > 66%, *mais provável do que não* > 50%, *improvável* < 33%, *muito improvável* < 10%, *extremamente improvável* < 5% (IPCC, 2007).

- Óxido nitroso (N_2O):

Desde 1980 o aumento da taxa de concentração atmosférica deste gás foi aproximadamente constante. Sabe-se que mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso é antrópica, devendo-se principalmente à agricultura.

Na figura 2.4, a seguir, são mostradas estimativas da média global do forçamento radiativo (FR) e as faixas para o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes no ano de 2005, juntamente com a extensão geográfica típica (escala espacial) do forçamento e o nível de compreensão científica (NCC) avaliado, além da faixa do FR e o FR líquido de causa antrópica.

Essas medidas requerem “a soma das estimativas assimétricas da incerteza dos termos componentes e não pode ser obtido por simples adição”, alerta o IPCC (2007), pois considera-se que outros fatores do forçamento não apresentados aqui tenham um NCC muito baixo.

É importante ressaltar que, apesar de não estarem incluídos na figura 2.4, os aerossóis vulcânicos contribuem com um forçamento natural adicional, mesmo que aconteçam episodicamente, e também que nas trilhas de condensação lineares não estão inclusos os outros efeitos possíveis da aviação ou da nebulosidade em sua faixa.

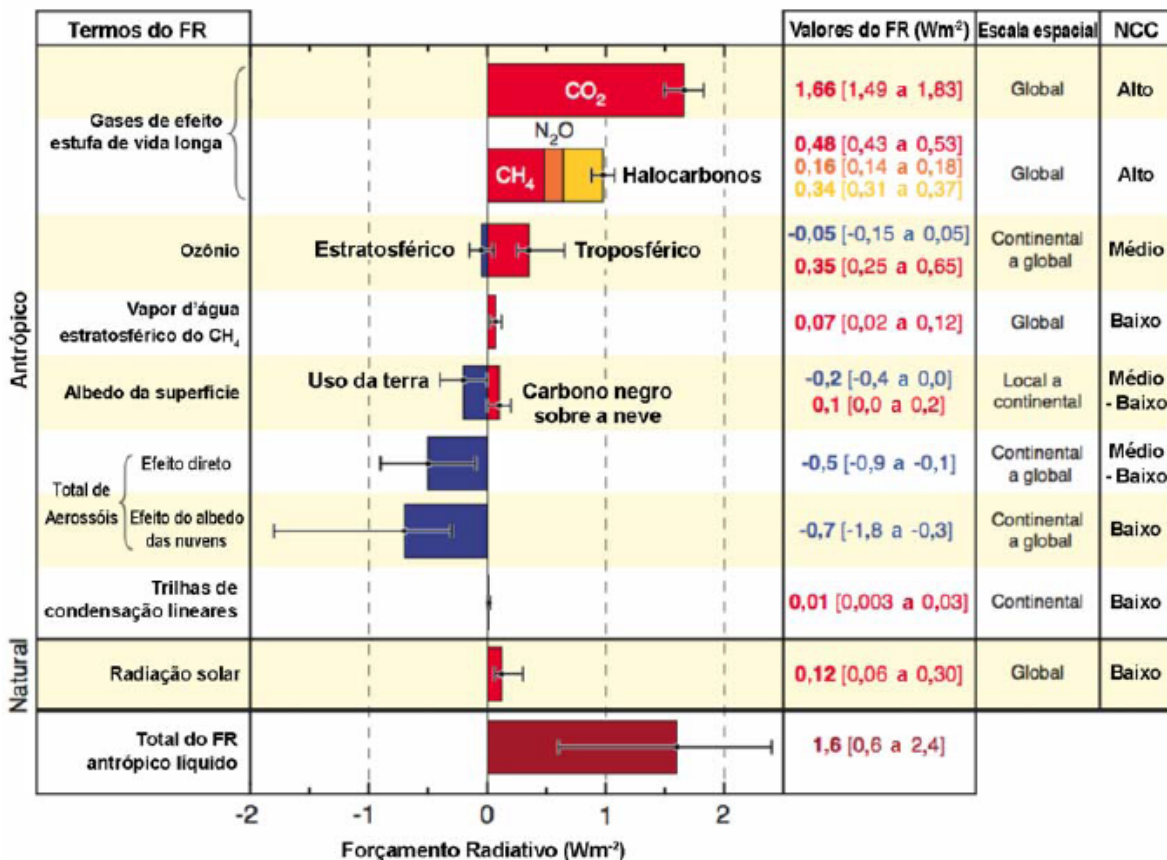


Figura 2.4 - Componentes do Forçamento Radiativo em 2005.

Fonte: IPCC (2007 b).

Desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação - TRA publicado em 2001 e citado pelo IPCC (2007), a compreensão das influências antrópicas no aquecimento e esfriamento do clima aumentou, promovendo um nível muito alto de confiança⁸ de que o efeito líquido global das atividades humanas desde 1750, em média, foi de aquecimento, com um forçamento radiativo de +1,6 [+0,6 a +2,4] W/m².

⁸ Os níveis de confiança adotados para expressar a opinião dos especialistas sobre a correção do conhecimento científico usado como base são: *nível muito alto de confiança*, uma chance de 9 em 10 de estar correto; *nível alto de confiança*, uma chance de 8 em 10 de estar correto.

O total do forçamento radiativo devido aos aumentos de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico é de +2,30 [+2,07 a +2,53] W/m², e é muito provável que a sua taxa de aumento durante a era industrial tenha sido sem precedentes em mais de 10.000 anos. O forçamento radiativo do dióxido de carbono aumentou em 20% de 1995 a 2005, a maior mudança em uma década nos últimos 200 anos.

- Principais contribuições antrópicas para o “forçamento radioativo” de acordo com o IPCC (2007):

- Os aerossóis, destacando-se principalmente o sulfato, carbono orgânico, aerossol negro de fumo, nitrato e poeira, produzem um efeito de esfriamento, com um forçamento radiativo direto total de -0,5 [-0,9 a -0,1] W/m² e um forçamento indireto do albedo das nuvens de -0,7 [-1,8 a -0,3] W/m². Esses forçamentos são melhor compreendidos agora do que na época da publicação do TRA, em razão da existência de melhores medições *in situ*, medições feitas por satélites e na superfície e de uma modelagem mais abrangente, mas continuam sendo a principal incerteza no forçamento radiativo. Os aerossóis também influenciam o tempo de vida das nuvens e a precipitação.
- Emissões de substâncias químicas formadoras de ozônio (óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonos) que resultam nas mudanças no ozônio troposférico contribuem com +0,35 [+0,25 a +0,65] W/m². O forçamento radiativo direto devido às mudanças nos halocarbonos⁹ é de +0,34 [+0,31 a +0,37] W/m². As mudanças no albedo da superfície decorrentes das mudanças na cobertura da terra e da deposição de aerossóis de negro de fumo na neve exercem forçamentos, respectivamente, de -0,2 [-0,4 a 0,0] e +0,1 [0,0 a +0,2] W/m².
- Mudanças na radiação solar ocorridas desde 1750, analisadas podem causar um forçamento radiativo médio de +0,12 [+0,06 a +0,30] W/m², o que é menos da metade da estimativa apresentada no TRA.

⁹ O forçamento radiativo dos halocarbonos foi recentemente avaliado em detalhes no Relatório Especial do IPCC sobre a Proteção da Camada de Ozônio e do Sistema Climático Global (2005).

2.2.1 – Observações diretas da recente mudança do clima

Segundo o IPCC (2007), não existem dúvidas quanto ao aquecimento do sistema climático. Está evidente nas observações realizadas sobre o aumento das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar, conforme pode ser observado pelos dados do IPCC (2007) mostrados a seguir.

Sabe-se que desde 1850, dos 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura da superfície global¹⁰, onze deles estão compreendidos entre os últimos anos (1995 a 2006). A tendência linear atualizada de 100 anos (1906 a 2005) de 0,74°C [0,56°C a 0,92°C] é, portanto, mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000 apresentada no TRA, de 0,6°C [0,4°C a 0,8°C]. A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos (0,13°C [0,10°C a 0,16°C] por década) é quase o dobro da dos últimos 100 anos. O aumento total de temperatura de 1850-1899 a 2001-2005 é de 0,76°C [0,57°C a 0,95°C]. Os efeitos das ilhas de calor urbano são reais, mas locais, exercendo uma influência insignificante (menos de 0,006°C por década sobre a terra e zero sobre os oceanos) nesses valores.

Nas últimas análises de medições feitas por balão e satélite da temperatura da baixa e média troposfera foram registradas “taxas de aquecimento similares às do registro de temperatura da superfície, condizentes com as suas respectivas incertezas”, harmonizando bastante uma

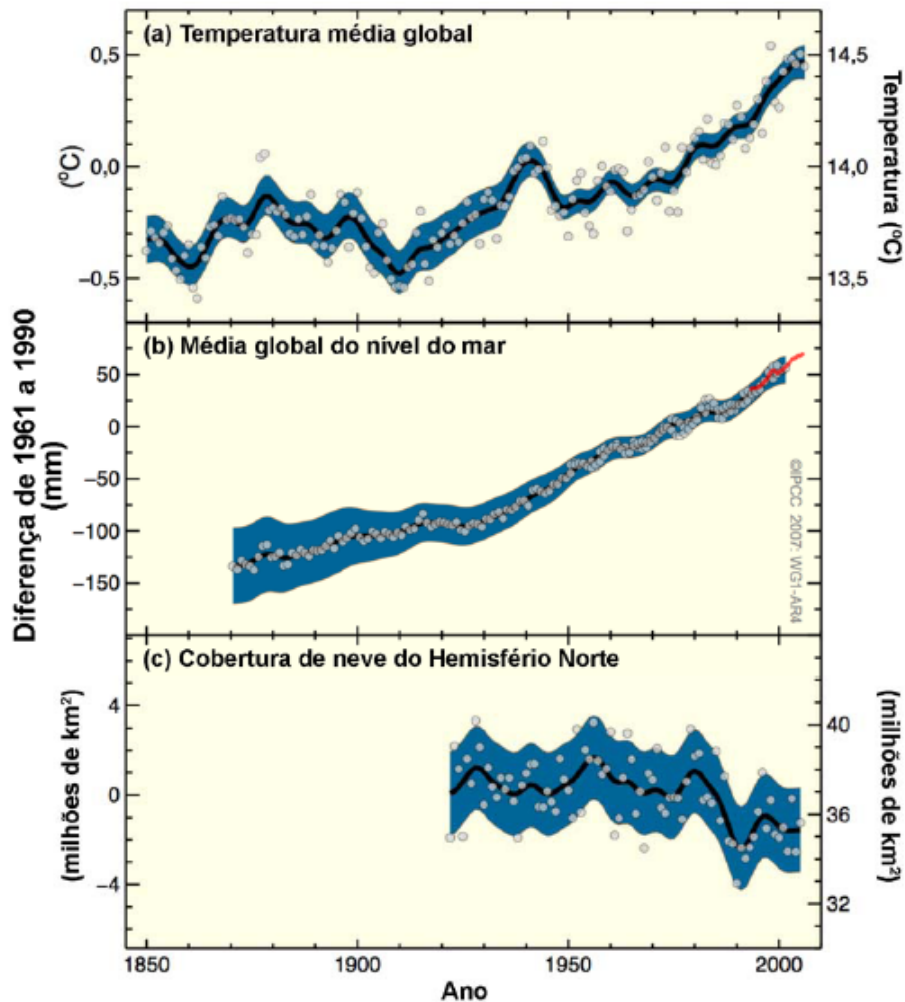
¹⁰ A média da temperatura do ar próximo à superfície sobre a terra e a temperatura da superfície do mar.

discrepância observada no TRA (IPCC, 2007). Verificou-se, ainda, que desde pelo menos a década de 80, o teor médio de vapor d'água na atmosfera aumentou sobre a terra e o oceano, bem como na alta troposfera, havendo grande coerência entre o aumento e a quantidade extra de vapor d'água que o ar mais quente consegue carregar.

Desde 1961, observações mostram que a temperatura média do oceano global aumentou em profundidades de até pelo menos 3000 m, e que o oceano tem absorvido mais de 80% do calor acrescentado ao sistema climático. Esse aquecimento faz com que a água do mar se expanda, o que contribui para a elevação do nível do mar. Além disso, nos dois hemisférios, as geleiras de montanha e a cobertura de neve diminuíram e, juntamente, as reduções generalizadas das geleiras e calotas de gelo contribuíram para a elevação do nível do mar. O IPCC destaca, porém, que as calotas de gelo não abrangem as contribuições dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica.

Nos gráficos mostrados na figura 2.5 a seguir, são apresentadas as mudanças observadas do período de 1850 a 2000. O gráfico (a) mostra a temperatura média global da superfície, o (b) mostra a média global dos dados da elevação do nível do mar (obtidos a partir de dados de marégrafo, representados em azul e de satélite, representados em vermelho). O gráfico (c) indica a queda da cobertura de neve do Hemisfério Norte no período de março a abril.

É possível ver que todas as mudanças são relativas às médias correspondentes para o período de 1961 a 1990.



*As curvas suavizadas representam valores médios decenais, enquanto que os círculos indicam valores anuais. As áreas sombreadas são os intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e nas séries temporais (c).

Figura 2.5 – Gráficos das mudanças ocorridas na temperatura, no nível do mar e na cobertura de neve do Hemisfério Norte.

Fonte: IPCC (2007).

Após a publicação do TRA, novos dados obtidos indicam ser muito provável que as perdas dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica tenham contribuído para a elevação do nível do mar ao longo do período de 1993 a 2003. A velocidade do fluxo aumentou em algumas geleiras de descarga dessas localidades, as quais drenam o gelo do interior dos

mantos de gelo. O correspondente aumento da perda de massa desses mantos com frequência se seguiu ao afinamento, redução ou perda de plataformas de gelo ou a perda de línguas de geleiras flutuantes. Essa perda dinâmica de gelo é suficiente para explicar a maior parte da perda líquida de massa da Antártica e aproximadamente metade da perda líquida de massa da Groenlândia. O restante da perda de gelo da Groenlândia ocorreu porque as perdas resultantes do derretimento excederam o acúmulo de neve.

A cada ano, no período de 1961 a 2003, a média global do nível do mar subiu a uma taxa média de 1,8 [1,3 a 2,3] mm. Ao longo do período de 1993 a 2003 a taxa foi mais acelerada cerca de 3,1 [2,4 a 3,8] mm por ano. Não está claro se a taxa mais acelerada para 1993-2003 reflete a variabilidade decadal ou um aumento da tendência de longo prazo. Há um nível alto de confiança de que a taxa da elevação do nível do mar tenha aumentado do século XIX para o século XX. Estima-se que a elevação total deste último século tenha sido de 0,17 [0,12 a 0,22] m.

Tabela 2.3 - Taxa observada de elevação do nível do mar e estimativa das contribuições das diferentes fontes.

Fonte de elevação do nível do mar	Taxa da elevação do nível do mar (mm por ano)	
	1961 a 2003	1993 a 2003
Expansão térmica	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Geleiras e calotas de gelo	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Mantos de gelo da Groenlândia	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Mantos de gelo da Antártica	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Soma das contribuições individuais do clima à elevação do nível do mar	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Total da elevação do nível do mar observada	1,8 ± 0,5 ^a	3,1 ± 0,7 ^a
Diferença (Observada menos a soma das contribuições estimadas do clima)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1,0

Nota: (a) Os dados anteriores a 1993 foram obtidos com o uso de marégrafos e os posteriores a 1993, por altimetria de satélite.

Fonte: IPCC (2007 b).

Dentro das incertezas existentes entre 1993-2003, a soma das contribuições do clima é condizente, com a elevação total do nível do mar observada diretamente. Essas estimativas disponíveis atualmente baseiam-se em dados de satélite e dados *in situ* aperfeiçoados. Estima-se que a soma das contribuições do clima seja inferior à elevação observada do nível do mar para o período de 1961 a 2003. O TRA relatou uma discrepância similar para o período de 1910 a 1990.

Foram observadas numerosas mudanças de longo prazo no clima, em escalas continental, regional e da bacia oceânica, tais como as mudanças nas temperaturas e no gelo do Ártico, mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, salinidade do oceano, padrões de vento e aspectos de eventos climáticos extremos, como secas, precipitação extrema, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais.

Algumas das drásticas conseqüências apontadas pelo IPCC (2007), por causa do aquecimento global são descritas abaixo:

- Mudança na temperatura ártica:

- A taxa de aumento das temperaturas árticas médias foi quase o dobro da taxa global média dos últimos 100 anos. As temperaturas árticas têm uma alta variabilidade decenal, e um período quente também foi observado de 1925 a 1945.
- Desde 1978, dados de satélite obtidos mostram que a média anual da extensão do gelo marinho ártico se reduziu em 2,7 [2,1 a 3,3]% por década, com reduções maiores no verão de 7,4 [5,0 a 9,8]% por década. Esses valores são condizentes com os relatados no TRA.
- As temperaturas no topo do *permafrost* (solo e subsolo permanentemente congelados), em geral, aumentaram desde a década de 80 no Ártico (em até 3°C).

“Desde 1900 a área máxima coberta por solo congelado sazonalmente diminuiu em cerca de 7% no Hemisfério Norte, com uma redução na primavera de até 15%” (IPCC, 2007).

- Tendências na quantidade de precipitação de longo prazo de 1900 a 2005 e no clima em grandes regiões mundiais:

- Na parte leste da América do Norte e da América do Sul, no norte da Europa e no norte e centro da Ásia foi observado um aumento significativo de precipitação;
- Podem ter ocorrido mudanças na precipitação e evaporação sobre os oceanos, pelo fato de se tornarem doces as águas das latitudes médias e altas e pelo aumento da salinidade das águas das latitudes baixas. Houve também maior frequência dos eventos de precipitação extrema sobre a maior parte das áreas terrestres (aumento de vapor d'água na atmosfera);
- No Sahel, no Mediterrâneo, no sul da África e em partes do sul da Ásia observou-se que o clima ficou mais seco. O IPCC (2007) lembra que os dados são limitados em algumas regiões e a precipitação apresenta grande variabilidade em termos espaciais e temporais e que, para as outras vastas regiões avaliadas não foram observadas tendências de longo prazo;
- Desde 1970, secas mais intensas e mais longas foram observadas sobre áreas mais amplas, especialmente nos trópicos e subtropicais. Também foram relacionadas com as secas as mudanças nas temperaturas da superfície do mar, nos padrões de vento e a redução da neve acumulada e da cobertura de neve;
- Mudanças generalizadas nas temperaturas extremas ao longo dos últimos 50 anos. Dias frios, noites frias e geadas tornaram-se menos frequentes enquanto que se tornaram mais frequentes dias quentes, noites quentes e ondas de calor;
- Em ambos os hemisférios desde a década de 60 os ventos do oeste em latitude média se tornaram mais fortes e evidencia-se um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais no Atlântico Norte desde cerca de 1970, correlacionado com os aumentos das temperaturas da superfície do mar nos trópicos. Também se prevê um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais em algumas outras regiões.

Contudo, ressalta-se que, com relação aos ciclones, há uma preocupação sobre a qualidade dos dados. Além disso, a variabilidade multidecadal e a qualidade dos registros dos ciclones tropicais antes das observações de satélite rotineiras iniciadas em torno de 1970

complicam a detecção das tendências de longo prazo na atividade dos ciclones tropicais e não há uma tendência clara nos números anuais dos mesmos.

No quadro 2.1 encontra-se uma síntese dos principais possíveis impactos associados com o aumento das concentrações atmosféricas de GEEs antropogênicos:

Quadro 2.1 – Análise das tendências recentes, avaliação da influência Humana na tendência e projeções de eventos extremos para os quais se identificou uma tendência no final do Século XX.

Fenômeno e Tendência	Probabilidade de que a tendência tenha se verificado no final do século XX (a partir de 1960)	Probabilidade de Contribuição Humana à Tendência Observada	Probabilidade de Tendências Futuras Baseadas em Projeções para o Século 21
Dias e noites mais quentes e menos dias e noites mais frios sobre grande parte das regiões terrestres	Muito provável	Provável	Virtualmente Certo
Dias e noites mais quentes e maior frequência de dias e noites mais quentes sobre grande parte das regiões terrestres	Muito provável	Provável (às noites)	Virtualmente Certo
Ondas de calor com maior frequência na maior parte das regiões terrestres	Provável	Mais provável que não provável	Muito provável
Chuvas fortes. Frequência (ou proporção do total de precipitação de fortes chuvas) maior sobre a maior parte das áreas	Provável	Mais provável que não provável	Muito provável
Aumento de áreas afetadas por seca	Provável em muitas regiões desde 1970	Mais provável que não provável	Provável
Aumento de atividades de ciclones tropicais intensas.	Provável em algumas regiões desde 1970	Mais provável que não provável	Provável
Maior incidência de altos níveis do mar (exclusive tsunamis)	Provável	Mais provável que não provável	Provável

Fonte: IPCC (2007).

Sintetizando o conteúdo abordado até o momento, o quadro 2.2 relaciona os principais gases com os fenômenos atmosféricos mais relevantes do ponto de vista do equilíbrio sócio-ambiental. Sabe-se que grande parte dos poluentes globais e dos poluentes convencionais têm fontes de emissão comuns, interagem na atmosfera e, individualmente ou de forma combinada, causam uma série de impactos de toda ordem, conforme apresentados a seguir.

Quadro 2.2 - Fenômenos Ambientais e Principais Substâncias Impactantes.

Impacto*	CO₂	CH₄	N₂O	O₃ trop.	O₃ estrat.	CFCs	HCFCs	HFCs	PFCs	SF₆	SOx	MP	CO	NOx	COV
Aumento direto do efeito estufa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X			
Aumento indireto do efeito estufa													X	X	X
Destruição da camada de ozônio			X			X	X								
Forçamento radiativo negativo											X				
Precursor de ozônio		X											X	X	X
Formação de material particulado											X				
Formação de chuva ácida											X		X	X	
Eutrofização			X									X	X	X	
Contato direto prejudicial à saúde, aos ecossistemas e ao patrimônio				X											X
Formação da camada de ozônio					X										

*As inter-relações físico-químicas que ocorrem na atmosfera entre os gases de poluição local e regional e os GEEs dependem, entre outros fatores, da presença de outras substâncias também presentes na atmosfera.

Fonte: DUBEUX (2007).

Sendo assim, pode ser observada uma grande correlação entre poluição global, regional e local, seja pela ótica da contribuição de cada gás a mais de um tipo de problema, seja simplesmente pelo fato de diferentes gases terem fontes de emissão comuns.

2.2.2 – Ações para o controle dos GEEs

- Regulação internacional e nacional do clima

Diante da perspectiva de surgimento de sérios problemas sócio-econômicos e ambientais devidos ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC, em 1992, (da qual o Brasil é signatário e que foi ratificada por 188 países desenvolvidos, listados no Anexo I da Convenção), que reconhece a grande responsabilidade dos países industrializados pelas emissões históricas de gases de efeito estufa e, portanto, estabelece um compromisso destes países em reduzi-las, diferentemente dos países em desenvolvimento, que ainda não tem esta obrigação (MCT/MRE, 2000).

O Protocolo de Quioto, instrumento que regulamenta a Convenção e que está em vigor desde 16 de fevereiro de 2005, fixa, em seu Anexo B, as metas individuais dos países industrializados (que em média deverão reduzir em 5,2% suas emissões relativamente às emissões de 1990 no período 2008 – 2012) (MCT/MRE, 1999).

Este Protocolo estabeleceu, além dessas metas, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)¹¹ pelo qual os países do Anexo B do próprio Protocolo (que em sua

¹¹ “A finalidade do MDL será a ajuda a países não incluídos no Anexo I para atingir o desenvolvimento sustentável e contribuir para o objetivo final da Convenção, e ajudar os países nele incluídos a adequar-

quase totalidade coincidem com os países do Anexo I da Convenção) podem adquirir reduções de emissões obtidas por projetos implementados em países que não estão presentes neste Anexo B (todos os demais países signatários do Protocolo, que não têm compromisso de redução de emissões).

Estes países ao utilizarem as Reduções Certificadas de Emissões (RCE)¹² obtidas de projetos do MDL, podem alcançar suas próprias metas de redução, minimizando custos de mitigação e contribuindo, ao mesmo tempo, para o desenvolvimento sustentável dos demais países. Desta forma, o MDL se constitui em uma oportunidade para países em desenvolvimento emprenderem medidas de mitigação de emissões e obterem recursos para tanto. O artigo 12 do Protocolo de Quioto estabelece os procedimentos e condições básicas a serem seguidos para qualificar projetos para gerar reduções certificadas de emissão, e o artigo 12.3 define:

(a) países não incluídos no Anexo I se beneficiarão de projetos resultando em reduções certificadas de emissões; e (b) países incluídos no Anexo I podem usar as reduções certificadas de emissões derivadas de tais projetos como contribuição à adequação de parte de seus compromissos quantificados de redução e limitação de emissões...” (MCT/MRE, 1999).

Estão sendo propostos os compromissos e as metas para depois de 2012 e países atualmente sem metas (como o Brasil) podem vir a ter que reduzir o ritmo de suas emissões quando do início do segundo período de compromisso de Quioto. As propostas que focam na participação dos países em desenvolvimento, em geral, aceitam

se aos seus compromissos quantitativos de limitação e redução de emissões” (artigo 12.2 do Protocolo de Quioto). O *Executive Board* (Conselho Executivo) do MDL tem a atribuição de supervisionar a implementação deste mecanismo e desenvolve uma série de tarefas relativas à operacionalização do MDL.

¹² Ou Unidades de Remoção (RMUs) para projetos de seqüestro de carbono.

que diferentes tipos de países devam ter distintos tipos e/ou níveis de compromissos. São aventados vários critérios para fixação de metas, como por exemplo, renda *per capita*, emissões *per capita*, emissões por unidade de PIB, população, emissões históricas, emissões atuais, entre outras (BODANSKY, 2004 *apud* DUBEUX, 2007).

Torna-se imperioso, portanto, o dimensionamento do potencial de mitigação de GEE no Brasil, seja por uma provável necessidade de contribuir em futuro próximo para as reduções de emissão globais ou pela simples possibilidade de obter recursos no mercado de carbono, via MDL (ou outro mercado qualquer de carbono).

Sendo assim, é da maior importância a identificação de oportunidades que tragam benefícios e não somente custos, reduzindo dessa forma o esforço de contribuição que o País venha a fazer com o clima do planeta. Neste sentido, cabe, entre outras coisas, analisar as opções que as cidades brasileiras têm para contribuir com o esforço coletivo, buscando identificar ações que não se traduzam somente em ônus aos cidadãos.

A legislação ambiental direcionada à proteção da atmosfera, no Brasil, está voltada para a poluição local e regional tal como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, em 1996. Com o objetivo de reduzir os níveis de emissão de poluentes, o PROCONVE fixa limites máximos de emissão de poluentes automotivos para veículos novos. Os limites de emissão de poluentes nos demais setores também estão voltados aos aspectos locais e regionais posto que, à exceção do controle de emissão de gases destruidores da camada de ozônio cujas regras estabelecidas pelo Protocolo de Montreal são observadas no Brasil, não há, por ora, compromisso de redução de gases causadores de poluição global.

- Créditos de Carbono

Paralelamente aos benefícios ambientais locais e regionais que traz, a redução do consumo de combustíveis fósseis pode se constituir em oportunidade de mitigação de emissões de GEE e de obtenção de recursos financeiros quando geradora de créditos a serem negociados no mercado internacional de carbono. Entre outras opções, tais créditos podem ser obtidos pela simples redução do consumo de derivados de petróleo (por aumento da eficiência geral dos sistemas ou pela substituição de fontes energéticas tradicionais por energia de fontes renováveis). Ações que resultem em redução de consumo de combustíveis que mitiguem o aumento do efeito estufa, portanto, podem alavancar recursos para a melhoria ambiental das cidades.

Com relação às opções de comercialização de créditos de carbono, apesar de o Protocolo de Quioto estar vigorando desde 2005, as medidas necessárias para sua implementação vieram sendo detalhadas nas instâncias competentes da Convenção por um longo período desde 1997, quando foi disponibilizado para adesões pelos países, levando ao estabelecimento espontâneo de um mercado mundial de emissões de GEE evitadas (a exemplo do comércio de carbono seqüestrado da atmosfera por projetos de reflorestamento entre outras medidas possíveis).

O MDL, já em fase de operacionalização, portanto, se constitui numa oportunidade ímpar para que projetos de redução de emissões possam ser implementados em países em desenvolvimento sem que os respectivos custos recaiam sobre estes países e, ao financiar projetos de redução de emissões de GEE, pode vir a contribuir indiretamente para custear a redução de emissões que causam certos tipos de poluição local ou proporcionar várias outras melhorias nas cidades, em razão das sinergias entre políticas

e projetos direcionados ao combate da poluição local e regional e ao clima. Os municípios podem participar de mecanismos como o MDL com propósitos múltiplos: contribuir para mitigar o clima do planeta e reduzir as emissões de poluentes atmosféricos locais, aperfeiçoar os sistemas de trânsito e transportes, reduzir gastos com consumo de energia e melhorar a gestão de resíduos sólidos e de esgotamento sanitário, entre outros.

- Benefícios obtidos a partir da implementação de políticas de redução de GEEs

Os efeitos colaterais de ações em favor do clima podem contribuir para o incremento da qualidade de vida nas cidades, como está acontecendo nos países da Europa onde, por exemplo, políticas climáticas para estabilização da concentração de GEEs na atmosfera podem resultar em redução dos custos de abatimento de emissões de gases que causam poluição local e regional como o SO₂ e NO_x. De acordo com VAN VUUREN *et al.* (2006) *apud* DUBEUX (2007), “os custos de mitigação destes dois poluentes locais podem ser reduzidos entre 2,5 e 7 bilhões de euros com a implementação das metas do Protocolo de Quioto”.

Simulações realizadas para identificar o impacto de políticas que objetivem limitar o aumento da temperatura média global a 2°C acima dos níveis da era Pré- industrial indicam como consequência, uma queda nas emissões de poluentes locais, com impactos benéficos na saúde humana ao mesmo tempo em que os custos das políticas de redução de emissões de poluentes locais são minimizados.

Com o acréscimo das medidas de mitigação do clima previstas, o custo de implementação das políticas já existentes de controle de poluição local devem cair em torno de 10 bilhões de euros por ano e os custos evitados de saúde (a exemplo dos

custos incorridos pelos sistemas públicos de saúde que deixarão de ocorrer) entre 16 e 46 bilhões de euros por ano. As reduções projetadas seriam de 10% para óxidos de nitrogênio, 17% para dióxido de enxofre e entre 8 e 10% para partículas, em 2030, comparativamente à linha de base (sem políticas climáticas). “Portanto, as políticas climáticas podem representar uma contribuição substancial para a redução da poluição atmosférica” (EEA/4, 2006 *apud* DUBEUX, 2007).

Uma comparação entre dois cenários que associam políticas climáticas e políticas convencionais e, entre outras, simula as mudanças nos níveis de poluição em algumas cidades europeias é apresentada na Tabela 2.4, a seguir.

Tabela 2.4 - Cenários de emissões de poluentes por cidades europeias.

Cidades	Ano 2000			Cenário 1 (Com Políticas Climáticas e de Poluição Local e Regional Vigentes) Ano 2030			Cenário 2 (Com Políticas Climáticas de Máximas Reduções Técnicas Viáveis e de Poluição Local e Regional Vigentes) Ano 2030		
	NO ₂	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	PM ₁₀	O ₃
	mg/m ³	mg/m ³	ppb/d	mg/m ³	mg/m ³	ppb/d	mg/m ³	mg/m ³	ppb/d
Antuérpia	39	26	3400	27	16	3600	18	10	3900
Atenas	34	12	6300	26	9	6400	14	5	5400
Barcelona	29	16	7300	19	10	6600	10	5	5600
Berlim	30	10	4300	19	7	3500	15	4	3000
Bruxelas	40	21	3500	26	13	3900	17	8	4200
Budapeste	30	21	3200	18	8	4800	10	4	3700
Copenhagem	26	9	3200	19	7	3300	12	4	2900

Tabela 2.4 - Cenários de emissões de poluentes por cidades europeias (Continuação...).

Cidades	Ano 2000			Cenário 1 (Com Políticas Climáticas e de Poluição Local e Regional Vigentes) Ano 2030			Cenário 2 (Com Políticas Climáticas de Máximas Reduções Técnicas Viáveis e de Poluição Local e Regional Vigentes) Ano 2030		
	NO ₂ mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³	O ₃ ppb/d	NO ₂ mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³	O ₃ ppb/d	NO ₂ mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³	O ₃ ppb/d
Atenas	34	12	6300	26	9	6400	14	5	5400
Barcelona	29	16	7300	19	10	6600	10	5	5600
Berlim	30	10	4300	19	7	3500	15	4	3000
Copenhagem	26	9	3200	19	7	3300	12	4	2900
Lisboa	27	11	3900	20	9	5100	12	5	5000
Londres	50	12	1300	32	9	2600	23	6	2900
Milão	51	19	7900	27	10	7400	17	6	6600
Paris	42	24	4700	30	16	5400	20	8	5300
Praga	28	13	5200	13	5	4100	8	3	3400
Roma	35	12	6300	18	7	6600	10	4	5500

Fonte: EEA/4 (2006) *apud* DUBEUX (2007).

Observa-se na tabela 2.4 que a maioria dos poluentes analisados sofre considerável redução (células com listras horizontais) quando políticas climáticas adicionais e contra poluição local e regional vigentes se complementam. Apenas no que se refere ao O₃ em algumas cidades a situação se inverte (células com listras verticais), pois

As concentrações de O₃ irão decrescer se houver grandes reduções de emissão de Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos - COVNM, CO e NO_x em grande escala. Em nível local, entretanto, um decréscimo nas concentrações de NO_x aumenta as concentração de O₃ (EEA/4, 2006 *apud* DUBEUX, 2007)¹³.

A literatura internacional identifica, além dos benefícios das políticas anteriormente mencionados, muitos outros, como por exemplo:

- Redução da utilização de veículos particulares pela substituição dos transportes coletivos: minimização das emissões de GEE e de poluentes locais e dos congestionamentos e, conseqüentemente, do tempo de deslocamento médio nas cidades, aumentando o tempo médio de lazer. Esta medida também reduz o número de acidentes de trânsito com claros benefícios relacionados à redução da taxa de mortalidade e morbidade, com reflexos óbvios nas condições de vida das populações e nas contas públicas de saúde.
- Aumento da cobertura vegetal: resulta em seqüestro de carbono da atmosfera e a maior arborização das vias públicas e dos parques, por exemplo, contribui para a amenização do microclima, pelo aumento da quantidade de áreas sombreadas. Também se verifica uma diminuição da taxa de assoreamento dos corpos hídricos, pela redução do *run off* que ocorre em função da ação das chuvas sobre áreas desvegetadas, entre outros inúmeros benefícios que traz.

Estratégias de controle de emissões que simultaneamente objetivem a redução de gases que afetam o meio ambiente globalmente e de poluentes convencionais podem resultar em maximização de uso eficiente de recursos, a partir das sinergias que podem ser alcançadas. Por outro lado, permitem a redução/eliminação de *trade-offs*, situação em que se melhoram certos aspectos dos problemas pela redução de alguns dos poluentes da atmosfera, mas que resultam no agravamento de outros problemas.

¹³ A redução das emissões de NO_x pode resultar tanto em aumento quanto em decréscimo nas concentrações de ozônio troposférico no nível do solo dependendo da razão NO_x/COV, entre outros fatores.

As políticas (ambientais) precisam olhar o custo-efetividade e a efetividade ambiental das soluções propostas de uma forma integrada, levando em consideração os efeitos em setores ambientais distintos. Tal integração previne contra o uso ineficiente de recursos e a implementação de soluções sub-ótimas (EEA/93, 2004 *apud* DUBEUX, 2007).

As políticas desenhadas para combater os problemas relacionados à atmosfera em diferentes dimensões podem e devem considerar suas implicações múltiplas, buscando maximizar os resultados que podem ser alcançados em todos os âmbitos, aumentando o custo-efetividade das ações e, evitando, quando for o caso, *trade-offs* negativos quando a redução de determinado poluente implica em piora de alguma outra condição ambiental que não aquela em que se pretende intervir.

Por fim, cabe dizer que no desenvolvimento deste trabalho serão avaliadas apenas as emissões do principal gás de efeito estufa emitido pelo homem, o CO₂. A quantificação da redução de poluentes locais decorrente de uma maior eficiência dos veículos leves fica como sugestão para um novo estudo.

3. ESTADO DA ARTE DOS PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA VEÍCULOS LEVES

Em 2006 o setor de transportes respondeu por 26,3% do consumo de energia no país. O transporte rodoviário representou 92,1% do consumo total de combustíveis no setor de transporte, devido às reconhecidas limitações da malha ferroviária e da infra-estrutura para outros modais (BEN, 2007). Do ponto de vista da diversidade de combustíveis utilizados, o mercado brasileiro de combustíveis automotivos é um dos mais dinâmicos do mundo, observando-se ao longo das últimas décadas a introdução dos biocombustíveis de forma relevante e a utilização do gás natural veicular. A figura 3.1 mostra como se distribuiu o consumo de combustíveis para o transporte rodoviário, da ordem de 49.067 mil tep em 2006 (BEN, 2007).

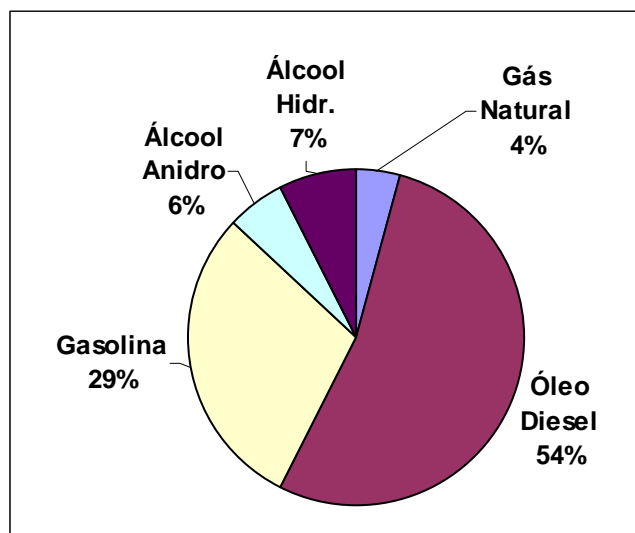


Figura 3.1 – Distribuição do Consumo de Combustíveis pelo Transporte Rodoviário no Brasil em 2006

Fonte: BEN 2007.

Buscando definir as prioridades para a promoção de um melhor desempenho energético, deve-se atentar que os consumidores de veículos leves, mais de 20 milhões de automóveis e caminhonetes, têm reduzido acesso aos dados sobre a eficiência de seus veículos. Já com os veículos comerciais isso não é verdade, e esses dados são relevantes e bem conhecidos, inclusive por influenciar na formação dos custos operacionais. Além disso, o CONPET vem atuando no âmbito dos veículos comerciais por meio dos programas EconomizAr, dirigido ao transporte de passageiros e de cargas e TransportAr, voltado para os caminhões-tanque que se abastecem nos terminais das refinarias da Petrobrás (NOGUEIRA E BRANCO, 2005).

Além dos consumidores dos veículos leves de uso pessoal estarem pouco informados, grande parte da imprensa especializada não chama a atenção para os aspectos de desempenho energético, focando os potenciais compradores apenas para os aspectos estéticos, de conforto e potência. As potências desses veículos têm se elevado de forma importante com a evolução do mercado automobilístico, muitas vezes acima das necessidades e não levando em consideração a eficiência e o consumo específico, com uma clara margem para aperfeiçoamento. Em muitos países, a melhoria dos indicadores de desempenho energético é notável mesmo quando os carros modernos incorporam itens que implicam em maior consumo de energia, como sistemas de ar condicionado e direção hidráulica, quando é atribuída a importância necessária ao uso racional de energia. A difusão de índices de eficiência energética e o estabelecimento de metas de desempenho podem provocar resultados significativos, com benefícios não apenas na quantidade de energia economizada e na redução da poluição atmosférica, como também na geração de renda e ampliação das oportunidades de trabalho (BEZDEK, R.H., WENDLING R.M., *apud* NOGUEIRA E BRANCO, 2005)

Muitas informações técnicas relativas ao desempenho e ao consumo de veículos leves são usualmente disponibilizadas pelos fabricantes para o consumidor. Entretanto, por não estarem sistematizadas de forma que seja possível uma análise comparativa baseada nestes dados, estas informações acabam não recebendo a devida importância.

Algumas revistas especializadas realizam testes comparativos de veículos adotando metodologias específicas, que em geral, não contam com o reconhecimento das montadoras de veículos, embora sejam eventualmente divulgadas de forma ampla.

Os vendedores e compradores de veículos normalmente observam o preço, a potência e informações sobre o conforto e a segurança; apenas nos “manuais do usuário” se encontram os dados de consumo de combustível (cidade e estrada), que é variável de importância para o uso eficiente de combustíveis. As emissões de poluentes não são normalmente apresentadas ao consumidor, restringindo-se à informação de que são cumpridas as determinações do PROCONVE.

A apresentação de dados de consumo de combustível relativos a todos os veículos, referenciados a uma mesma base de forma a permitir uma análise comparativa, que sejam reconhecidos pelas montadoras, incluindo além das informações sobre desempenho e emissões, permite ao consumidor considerar tais fatores no momento da tomada de decisão pela aquisição de um determinado modelo.

Esse capítulo procura apresentar os conceitos e as questões básicas sobre eficiência de veículos leves, buscando organizar sinteticamente a informação disponível, resumindo a experiência internacional, resgatando os esforços já empreendidos no Brasil e oferece sugestões para ações públicas que promovam uma maior eficiência veicular no âmbito da legislação brasileira e em particular através dos instrumentos da Lei 10.295/2001, Lei

de Eficiência Energética e do Programa Brasileiro de Etiquetagem. O objetivo principal é fundamentar o processo de difusão de informações aos consumidores, com a publicação dos consumos e a etiquetagem dos veículos, visando um progressivo estabelecimento de níveis mínimos de desempenho.

O aumento da eficiência energética média da frota provocado pela divulgação dos selos de eficiência e a proposição de metas de eficiência mínima veicular tem um impacto direto na redução de emissões de gases de efeito estufa. Nos capítulo 5 essas melhorias de eficiência serão quantificadas e os resultados apresentados em cenários para o Brasil entre os anos 2000 e 2030.

3.1 – A Experiência Internacional nos Programas de Eficiência Energética para Veículos Leves

Os governos em todo o mundo estão lidando com duas questões diferentes mas interconectadas: Como reduzir as emissões de gases de efeito estufa e como diminuir a sua dependência de petróleo. As metas veiculares, traçadas para reduzir o consumo de combustíveis ou as emissões de gases de efeito estufa, podem contribuir bastante para que esses países alcancem esses objetivos.

Esse capítulo também compara as recentes metas propostas pelos governos de diversos países do mundo no sentido de tornar a frota mais eficiente e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

O Japão e a Europa lideram e continuarão a liderar o mundo em termos do controle de emissão de GEEs e consumo de combustíveis de veículos leves, em parte devido a políticas que favorecem veículos e combustíveis mais limpos e eficientes. Em termos de

ganhos absolutos, a Califórnia e o Canadá provavelmente serão os líderes na próxima década.

Outros países podem fazer bons avanços nos próximos anos, dependendo de como as suas políticas sejam implementadas. Os Estados Unidos e a China estarão tomando importantes decisões nos próximos anos, durante os próximos estágios de suas políticas de eficiência energética e de emissões de GEEs. A proposta americana levará a meta de consumo de combustível bem próxima ao patamar chinês, e considerando que esses dois países juntos respondem por quase 40% das vendas mundiais de veículos leves, cada um deles enfrentará um grande obstáculo para reduzir o consumo de petróleo nos próximos anos.

Alguns países com frota significativa e vendas em expansão, como Índia, México, Coreia do Sul podem aplicar metas mais restritivas para que o objetivo de suas políticas sejam alcançados. As decisões de como alcançar as metas de eficiência irão afetar não somente o seu mercado interno, mas também as condições mundiais para as gerações que estão por vir (INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION - ICCT, 2007).

Em diversos países, sobretudo naqueles de maior desenvolvimento, tem surgido e se consolidado programas de fomento à eficiência energética veicular, geralmente em associação à regulação de emissões. Esses programas definem metas mínimas de eficiência, ou máximas de consumo que devem ser seguidas pelos fabricantes. Por outro lado, a etiquetagem dos veículos também pode atuar no sentido de redução do consumo facilitando a comparação de dados nem sempre acessíveis, como o consumo específico

do veículo e o seu fator de emissão de gases de efeito estufa. A seguir as principais iniciativas existentes no mundo serão apresentadas.

3.1.1 – União Européia

Há mais de uma década atrás, a União Européia começou a firmar acordos voluntários com as associações de fabricantes de automóveis que vendem veículos no mercado europeu para reduzir as emissões de gases de efeito estufa provenientes dos escapamentos. Esses acordos se aplicam à frota nova de cada fabricante, e definiram uma meta de 140 gCO₂/Km para a média ponderada das vendas de seus veículos. Essa meta foi traçada para atingir uma redução de 25% nas emissões de CO₂ por veículos leves em relação a 1995. O acordo original com a Associação Européia de Fabricantes de Automóveis (ACEA) tinha como data de início o ano de 2008, enquanto que os fabricantes asiáticos tinham até 2009 para se adequar.

As tendências atuais sugerem que os fabricantes não irão conseguir se adequar à meta de 2008. Em 2006, a média do fator de emissão de CO₂ dos fabricantes, ponderado pelas vendas, ficou entre 142 e 238 g/Km, com uma média geral de 160g/km, como pode ser visto na figura 3.2, a seguir. Em 2008, o fator de emissão médio dos novos de veículos está sendo estimado em 155 gCO₂/Km, ao invés de 140 gCO₂/Km.

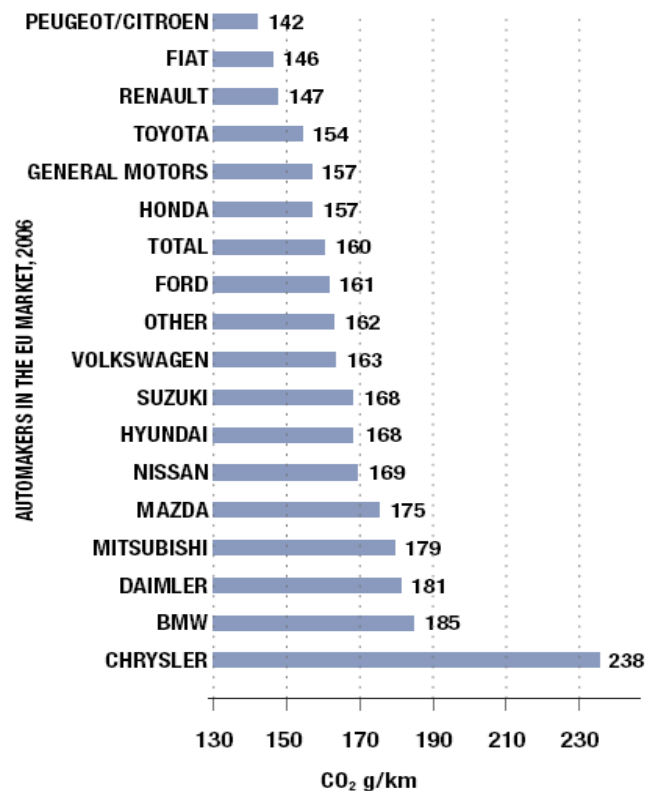


Figura 3.2 – Fatores de emissão de CO₂ dos fabricantes de automóveis no mercado europeu em 2006.

Fonte: ICCT, 2007

A Comissão Europeia anunciou em 2007 que o seu objetivo de alcançar 120 gCO₂/Km será alcançado mediante uma “estratégia integrada”. Em junho de 2007, o Conselho Ministerial de Meio Ambiente formalmente adotou uma resolução para aprovar as metas obrigatórias e uma estratégia integrada para atingir 120 gCO₂/km, com os fabricantes alcançando a meta de 130 gCO₂/Km, através de melhorias técnicas e as 10 gCO₂/Km restantes através de medidas complementares. Essas medidas podem incluir a utilização de pneus e ar condicionados mais eficientes, sistemas de monitoramento da pressão do pneu, indicadores para a mudança de marcha e o aumento do uso de biocombustíveis.

Na tabela 3.1, a seguir, podemos ver os modelos comercializados na União Europeia que possuem fatores de emissão abaixo de 140 gCO₂/km. Nessa tabela chamam a

atenção os modelos BMW e o Volvo S40 1.6 a diesel, com um fator de emissão de dióxido de carbono de 129g/km. São carros renomados, e evidenciam que fabricar carros com baixas emissões não é impossível nem tão caro que os façam deixar de ser competitivos.

Tabela 3.1 – Modelos com fatores de emissão menores que 140 gCO₂/km disponíveis na União Européia

Make	Models < 120g/km	Models 120-130g/km	Models 130-140g/km
BMW	MINI 1.4d	118d, 120d	118i, MINI 1.4, 1.6
Chevrolet		Matiz 0.8	Matiz 1.0, 0.8auto
Citroën	C1, C2 diesel, C3 diesel	C4 1.6d	C2 1.4 stopstart
Daihatsu	Charade, Sirion 1.0		Sirion 1.3
Fiat	Panda 1.3 Multijet; Grande Punto 1.3 Multijet 75	Grande Punto Multijet 90	Panda 1.1, 1.2, Punto 1.2; Stilo 1.9 Multijet 90 3d
Ford	Fiesta 1.4 tdc, 1.6tdci	Focus 1.6 tdc; C-Max1.6tdci	Focus 1.8tdci
Honda	Civic 1.3 hybrid	Jazz 1.2dsi-s	Jazz 1.4dsi; Civic 1.4, 2.2cdti
Hyundai		Amica 1.1gsi; Getz 1.1, 1.5d	Amica 1.1cdx
Kia		Picanto 1.0, 1.1; Rio 1.5d; Cerato 1.5d	
Mazda		2 1.4d; 3 1.6d	
Mercedes-Benz		A160 cdi	A180 cdi
MINI			Cooper 1.6
Mitsubishi		Colt 1.1, 1.5d	
Nissan		Micra 1.5d	Note 1.5d
Perodua		Kelisa1.0	Myvi 1.3sxi; Kenari 1.0
Peugeot	107 1.0 urban; 206 1.4hdi	1007 1.4hdi; 207 1.4hdi, 1.6hdi; 206 1.6hdi; 206cc 1.6hdi; 307 1.6hdi 3d	307 1.6 hdi 5d
Proton			Savvy 1.2 street
Renault	Clio Campus 1.5dci; Clio 1.5 dci 86	Modus 1.5dci; Clio 1.5dci; Megane 1.5dci 86 & 106	Scenic 1.5dci 86 & 106; Grand Scenic 1.5dci 106 Privilege
SEAT		Ibiza 1.4tdi	Ibiza 1.9tdi 100; Leon 1.9tdi
Škoda		Fabia 1.4tdi pd	Fabia 1.9tdi; Roomster 1.4tdi pd
Smart	ForTwo Pure; all For Two diesels	ForTwo Pulse & Brabus; ForFour 1.0, 1.5dci; Roadster, Roadster Brabus	
Suzuki		Swift 1.3d	
Toyota	Aygo; Prius	Yaris 1.0, 1.4d	Auris 1.4d
Vauxhall		Corsa 1.3 cdti; Tigra 1.3cdti	Agila 1.0; Corsa 1.0, 1.2 (some); Meriva 1.3 cdti; Astra 1.7cdti
Volkswagen		Polo 1.4tdi	Polo 1.9tdi
Volvo		C30 1.6d; S40 1.6d	C30

Fonte: THE CENTRE FOR BUSINESS RELATIONSHIPS, ACCOUNTABILITY, SUSTAINABILITY AND SOCIETY, 2007

Na Figura 3.3, a seguir, podemos observar o comportamento dos fatores de emissão de CO₂, em g/km das associações de fabricantes no mercado europeu.

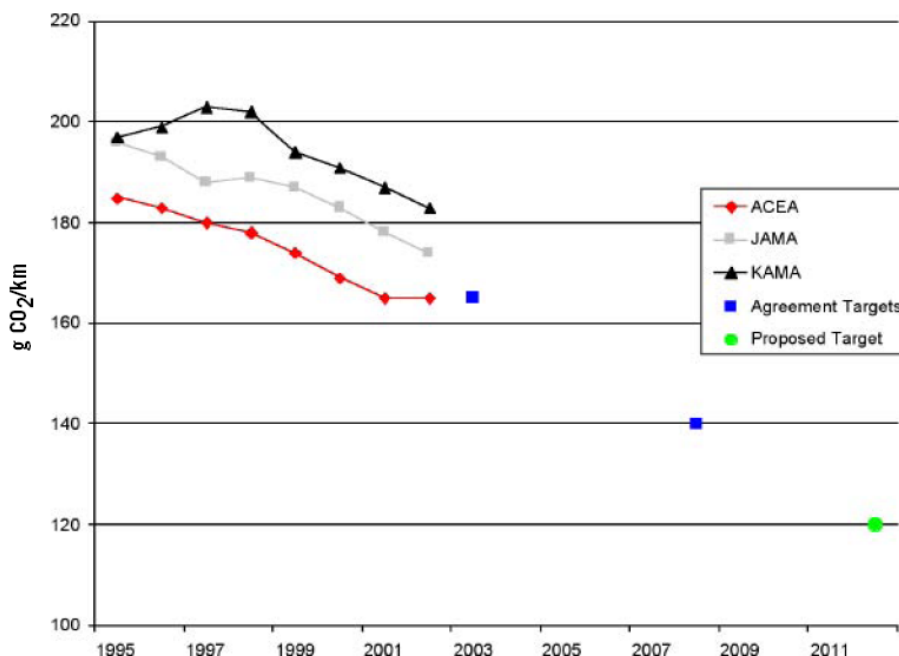


Figura 3.3 – Metas e o progresso das emissões em gCO₂/km ao longo dos anos no mercado Europeu¹⁴

Fonte: AN F. AND SAUER A., 2004

Quando um Estado-Membro tem a responsabilidade de atingir uma meta comum, pode ser permitida uma flexibilização para que haja a troca de créditos com outro país para ajuda-lo a atingir o objetivo. Essa flexibilização pode reduzir o custo total da diretiva mas pode significar diferentes custos e benefícios para os Estados-Membros devido à diferente frota presente em cada um, conforme a figura 3.4, a seguir, que indica que 10 de 15 países, incluindo o Reino Unido, provavelmente terão que comprar créditos para atingir as metas. Os principais beneficiados seriam alguns novos membros da União Européia, Portugal, França e Itália.

¹⁴ KAMA – Korean Automobile Manufacturers Association

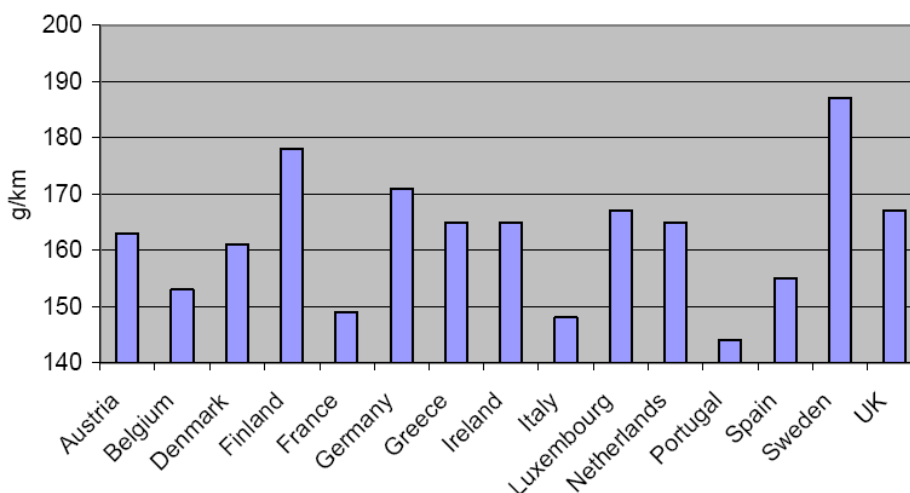


Figura 3.4 – Fatores de emissão médios de CO₂ dos novos carros na UE

Fonte: KÅGESON, P., 2007

A Comissão anunciou que irá propor uma estrutura legislativa para implementar metas de emissão para veículos leves e políticas complementares no máximo até o final de 2008. O Conselho Ministerial de Meio Ambiente expressou o desejo de se traçar metas de longo prazo para as emissões veiculares, até 2020, no contexto de uma estratégia geral de redução de emissões de gases de efeito estufa. O Conselho indicou ainda que a estrutura regulatória deva ser a mais competitiva e neutra possível.

No âmbito europeu encontra-se em implementação uma proposta, preparada a partir de uma indicação da EEC (Commission Proposal for a Council Directive relating to the availability of consumer information on fuel economy in respect of the marketing of new passenger cars), definindo as características básicas da etiqueta a ser adotada, mostrada na figura a seguir¹⁵. Como se observa na figura 3.5, a etiqueta dos veículos europeus assemelha-se bastante à etiqueta utilizada no Programa Brasileiro de Etiquetagem.

¹⁵ RAIMUND, W., FICKL, S., *apud* NOGUEIRA E BRANCO, 2005.

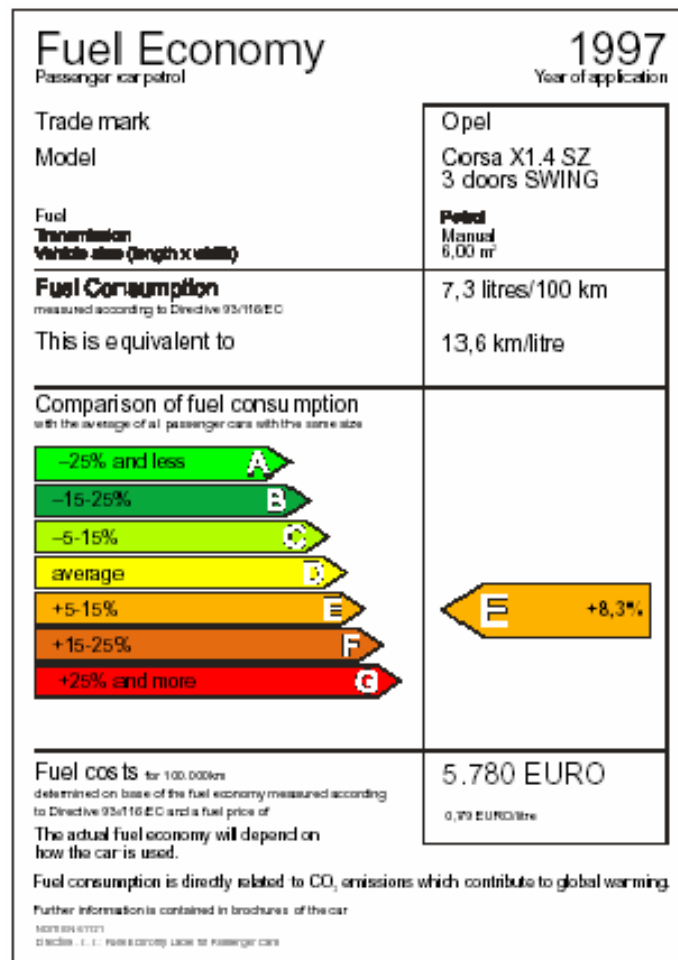


Figura 3.5. Etiqueta de desempenho energético em adoção na Comunidade Européia

Fonte: RAIMUND, W., FICKL,S., *apud* NOGUEIRA E BRANCO, 2005

Esse programa europeu se estabeleceu com o acordo selado entre as 42 montadoras britânicas e o *Low Carbon Vehicle Partnership Passenger Car Working Group*, vinculado ao Departamento de Transportes, para a adoção voluntária da etiquetagem a partir de setembro de 2005, no âmbito do Reino Unido. A figura 3.6, a seguir mostra a etiqueta adotada, que inclui informações ambientais e a taxa rodoviária, que é inversamente proporcional ao desempenho energético do veículo.

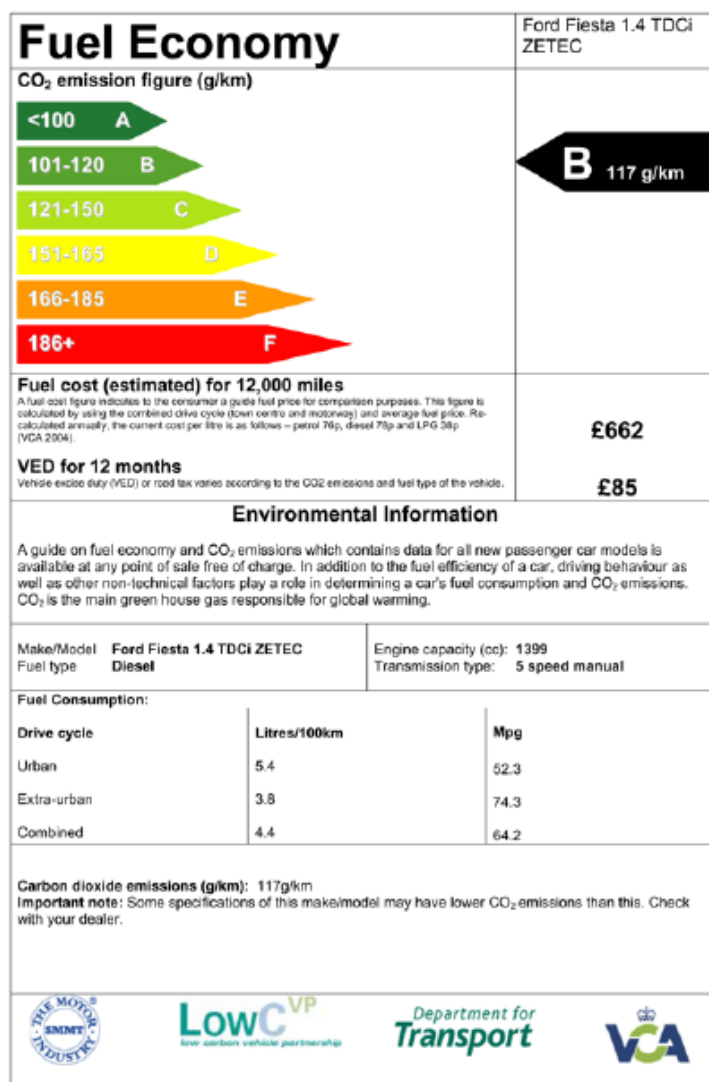


Figura 3.6. Etiqueta de consumo veicular adotada no Reino Unido

Fonte: NOGUEIRA E BRANCO, 2005

3.1.2 – Japão

O governo Japonês estabeleceu inicialmente um programa de eficiência energética em 1999, para veículos leves e comerciais. As metas de economia de combustível são baseadas no peso do veículo. Penalidades para o não cumprimento das metas são aplicadas, mas elas são bem tímidas. A efetividade das metas é aumentada por taxas progressivas proporcionais ao peso do veículo e ao tamanho do seu motor, quando os veículos são comprados e registrados. Essa política promove a compra de veículos mais leves e menos potentes. Por exemplo, a Associação Japonesa de Fabricantes de

Veículos estima que o dono de um carro sub-compacto (750kg) pagará US\$ 4.000 a menos em taxas em relação a um carro mais pesado (1.100kg), durante a vida útil do veículo (JAMA16, 2007, *apud* ICCT, 2007).

A figura 3.7, a seguir, compara as metas japonesas para 2010 com a média da frota existente no ano de 1995 para os veículos leves a gasolina. Assumindo que não haverá uma alteração muito significativa na composição da frota, essas metas implicariam num aumento médio de eficiência de 23%.

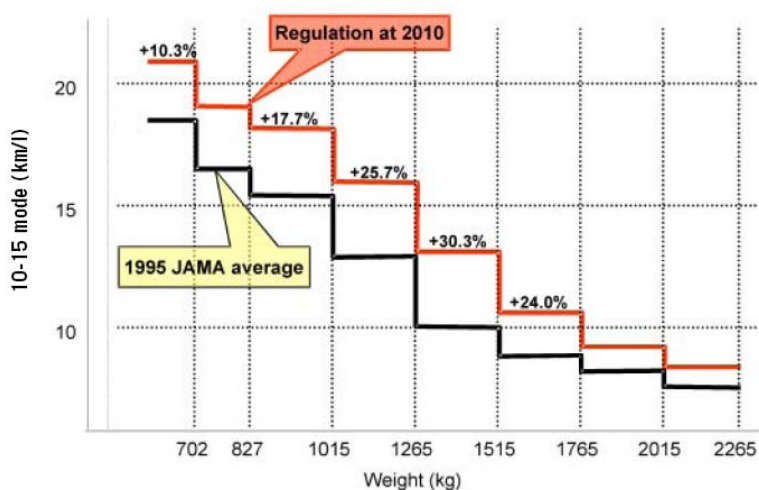


Figura 3.7 – Comparação entre as metas japonesas de 2010 e o consumo específico da frota de 1995

Fonte: Ministério do Transporte do Japão, *apud* AN F. AND SAUER A. 2004

Em dezembro de 2006, o Japão revisou suas metas de economia de combustível para cima, e expandiu o número de classes de divisão do peso veicular de 9 para 16, como pode ser observado na figura 3.8 abaixo.

¹⁶ JAMA – Associação Japonesa de Fabricantes de Automóveis.

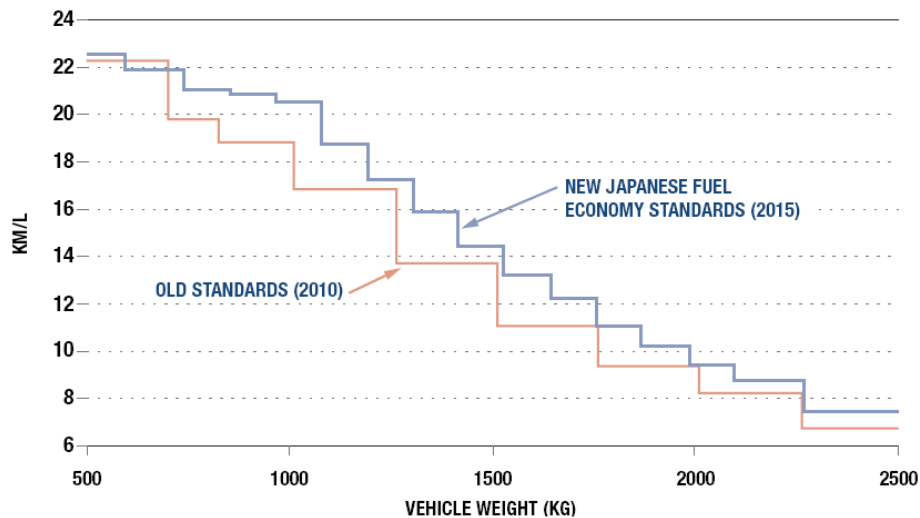


Figura 3.8 – Metas japonesas comparadas: 2010 e 2015.

Fonte: ICCT, 2007

Essa revisão aconteceu antes da implementação total das metas anteriores porque a maioria dos veículos vendidos naquele país em 2002 já atingia as metas de 2010. Essas novas metas foram projetadas para aumentar eficiência média da frota de carros novos de 13,6 km/l em 2004 para 16,8 km/l em 2015, um aumento de 23,5%.

3.1.3 – China

A China é um dos países mais recentes a entrar no campo da regulamentação de eficiência energética veicular. Desde 2005, o mercado de veículos leves novos tem sido sujeito a metas de consumo, que são desenhadas para reduzir a dependência chinesa do petróleo importado e encorajar os fabricantes internacionais a trazerem veículos mais eficientes para o país. Essas novas metas definem um consumo máximo de combustível limitado por categorias divididas pelo peso do veículo, e foram implementadas em duas fases. A Fase 1 foi posta em prática a partir de julho de 2005 para modelos novos, e um ano mais tarde para modelos antigos. A segunda fase entrou em operação em janeiro de 2008 para modelos novos, e entrará em vigor para modelos antigos em janeiro de 2009.

A primeira fase aumentou a eficiência dos novos carros em 9%, de 11,1 km/l em 2002 para 12,1 km/l em 2006, apesar dos aumentos do peso médio dos veículos e da potência do motor (Catarc 2007 *apud* ICCT, 2007). Na figura 3.10, a seguir, as Fases 1 e 2 são comparadas.

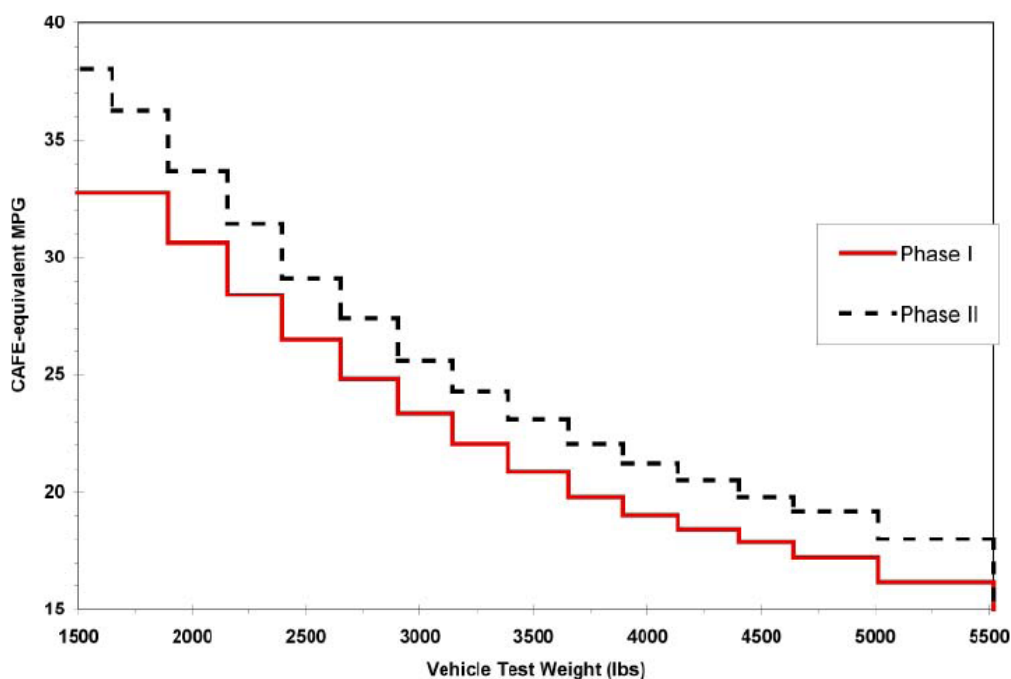


Figura 3.10 – Metas chinesas de eficiência energética veicular

Fonte: AN F. AND SAUER A. 2004

A China recentemente revisou a sua política de taxação para incentivar a compra e a venda de veículos com motores menos potentes. Essa taxa tem dois componentes, uma incide sobre o fabricante, e outra sobre os consumidores. A taxa para veículos com motores pouco potentes, entre 1.0 e 1.5 litros diminuiu de 5% para 3% enquanto a taxa sobre veículos com motores com capacidade acima de 4 litros foi aumentada de 8% para 20% (ICCT, 2007). As novas taxas são apresentadas na tabela 3.2, a seguir.

Tabela 3.2 – Taxas sobre a motorização vigentes na China

Tamanho do Motor	Taxa
Automóveis	
1.0 a 1.5 litros	3%
1.5 a 2.0 litros	5%
2.0 a 2.5 litros	9%
2.5 a 3.0 litros	12%
3.0 a 4.0 litros	15%
Maior que 4.0 litros	20%
Ônibus	5%
Motos	
<250 cc	3%
>250 cc	10%

Fonte: AN, F., 2006

3.1.4 – Estados Unidos

Estabelecido nos Estados Unidos a partir do Energy Efficiency and Conservation Act (1975), no bojo da crise energética dos anos setenta, o programa CAFE (Corporate Average Fuel Economy) definiu metas para a média da frota produzida por cada fabricante e permitiu obter resultados importantes. Na época que as metas foram adotadas, o seu principal objetivo era de reduzir a dependência de petróleo, em grande parte importado. A redução dos impactos no meio ambiente não era um objetivo explícito.

As metas do programa CAFE são definidas pela Administração Nacional de Tráfego e Segurança (NHTSA), enquanto que a Agência de Proteção Ambiental (EPA) é responsável por administrar os procedimentos dos testes de consumo de combustível.

Quando as metas do CAFE foram introduzidas, as caminhonetes eram um pequeno percentual da frota, sendo utilizadas predominantemente para trabalho e propósitos agrícolas. Para proteger os pequenos negócios e os agricultores, as caminhonetes foram sujeitas a metas menos restritas de economia de combustível. Desde aquela época os fabricantes introduziram diversos modelos novos, combinando características dos carros e caminhonetes. A utilização desses veículos agora é feita primordialmente para o transporte pessoal, e a presença na frota superou a de carros convencionais. Como resultado, uma diminuição de 7% no desempenho médio da frota foi observada desde 1988 (EPA, 2004, *apud* ICCT, 2007). A economia média estimada devida ao CAFE, no início dos anos oitenta, era da ordem de 2,5 milhões de barris diários de petróleo, cerca de 25% da demanda de gasolina (HWANG, R.J., 2004 *apud* NOGUEIRA E BRANCO, 2005).

Conforme a figura 3.12 seguinte, no âmbito do CAFE as metas de consumo para os automóveis se mantêm praticamente inalteradas desde 1985, em 27,5 mpg (milhas por galão). Somente para os comerciais leves, as metas tornaram-se um pouco mais rígidas, aumentando de 20,7 mpg em 2004 para 21 mpg em 2005, 21,6 mpg em 2006 e 22,2 mpg em 2007. Nessa legislação, a penalidade pelo não atendimento aos padrões do CAFE (multa de U\$5,50 por 0,1 mpg abaixo do padrão de cada veículo de um dado ano-modelo), pode ser evitada pelos créditos atribuídos quando a eficiência média de um veículo excede o padrão estabelecido.

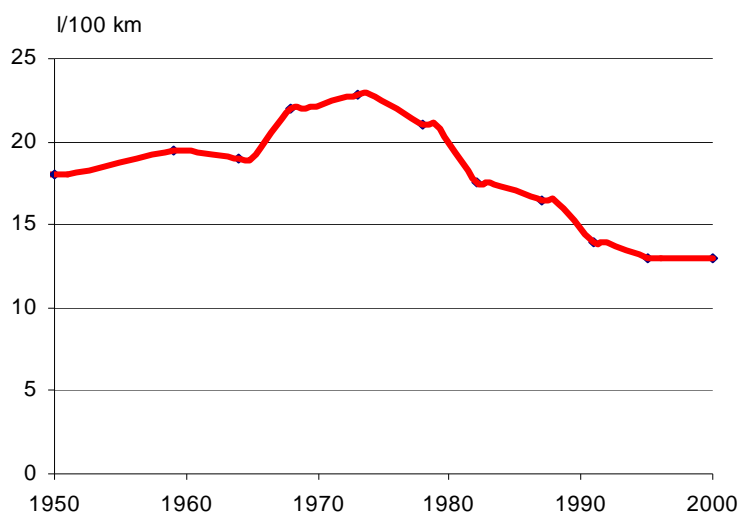


Figura 3.12 - Evolução do consumo médio dos automóveis americanos

Fonte: SMIL, V. 2003, *apud* NOGUEIRA E BRANCO, 2005

Essa queda na eficiência dos veículos novos também pode ser explicada pela figura 3.13, abaixo. O peso e o desempenho são dois dos mais importantes parâmetros para se determinar o consumo de combustível de um veículo. Com todos os outros fatores sendo iguais, um peso maior e um tempo de aceleração de 0 a 60 mph menor, fazem o consumo de combustível de um veículo aumentar. O peso e o desempenho dos veículos leves americanos cresceram continuamente entre a metade da década de 80 e 2004

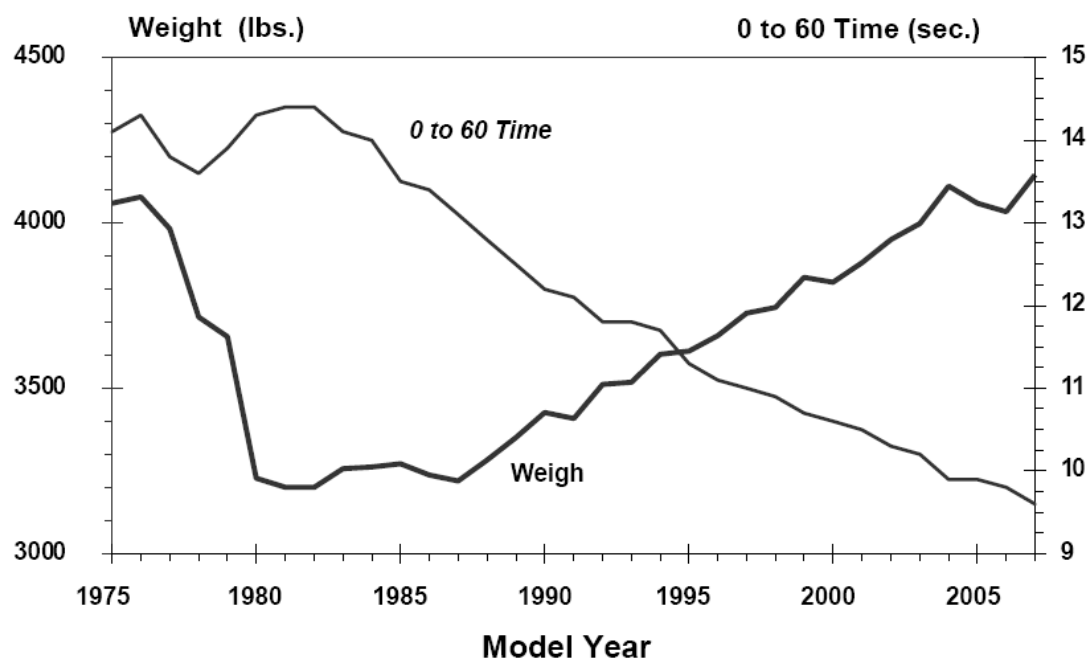


Figura 3.13 – Peso e performance (tempo de aceleração de 0 a 60mph) dos veículos leves americanos

Fonte: EPA, 2007

Duas metas distintas do CAFE continuam valendo para veículos leves. Para carros convencionais, esta meta está fixada em 27,5 mpg, enquanto que a meta para caminhonetes aumentou de 20,7 mpg em 2004 para 24 mpg em 2011. Recentemente a NHTSA adotou metas para caminhonetes proporcionais a área entre as suas quatro rodas. O novo modelo é baseado numa complexa fórmula que relaciona a economia de combustível com o tamanho dos veículos. Nos primeiros anos os fabricantes poderão escolher entre metas de 22,7 mpg em 2008, 23,4 mpg em 2009 e 23,7 mpg em 2010, ou em metas baseadas no tamanho do veículo, que serão obrigatórias a partir de 2011, e que deverão proporcionar um consumo médio da frota de 24 mpg (NHTSA 2006, *apud* ICCT, 2007). Na Figura 3.14, a seguir pode-se observar a evolução das metas do programa CAFE e as médias de consumo dos veículos entre 1978 e 2008.

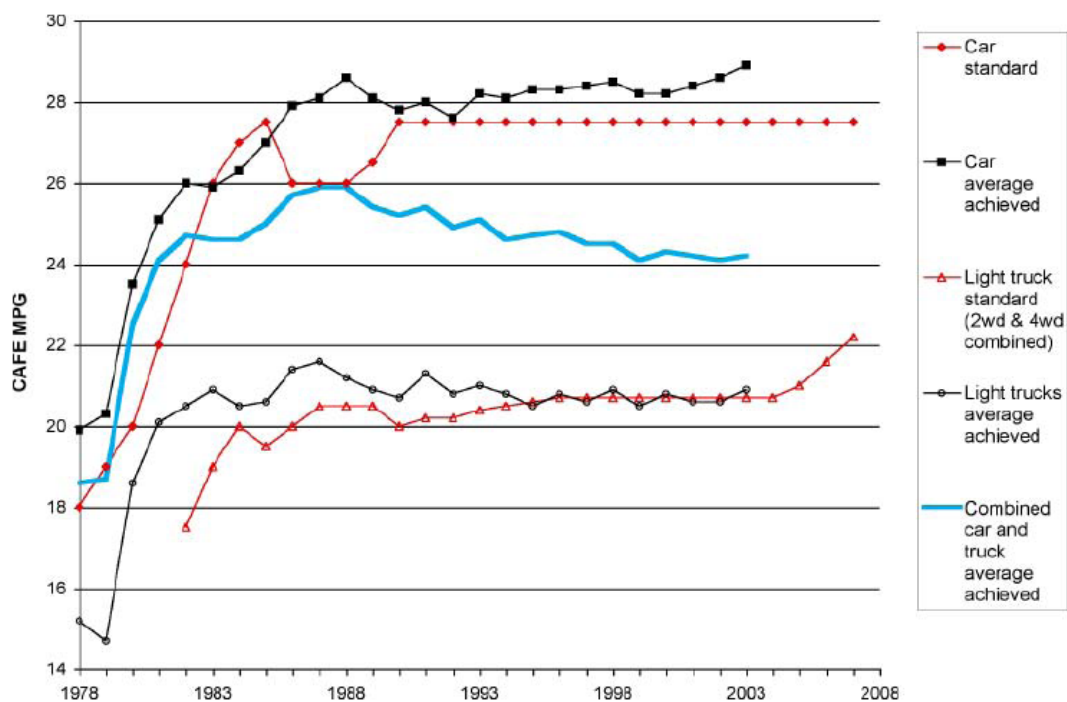


Figura 3.14 – Evolução das metas do programa CAFE e as médias de consumo dos veículos entre 1978 e 2008

Fonte: AN F. AND SAUER A. 2004

É importante constatar que o CAFE adota procedimentos diferentes para os veículos de passageiros e os chamados comerciais leves (caminhonetes), cada vez mais usados como veículos de passageiros e responsáveis atualmente por grande parte das vendas. Por esse motivo a eficiência média no uso de combustível tem se reduzido continuamente nos últimos anos, como mostrado na linha azul da figura anterior (NOGUEIRA E BRANCO, 2005)

Uma análise feita pela NHTSA mostra que devido à grande variedade da composição de frota de veículos leves, cada fabricante tem a sua própria meta, dependendo do tamanho dos veículos que ele vende. Como mostra a figura 3.15, a seguir, os maiores fabricantes americanos, DaimlerChrysler, General Motors e Ford, junto com a fabricante japonesa Nissan, provavelmente terão as metas mais relaxadas de eficiência energética, enquanto

que a Hyundai, BMW e Toyota deverão ter as metas mais restritivas de eficiência energética em 2011 (NHTSA, 2006, DOT, 2006, *apud* ICCT, 2007).

	FUEL ECONOMY TARGETS (MILES PER GALLON)				PERCENTAGE GAINS 2008-2011
	2008	2009	2010	2011	
General Motors	21.9	22.6	22.9	23.2	5.94%
Isuzu	22.2	22.9	23.2	23.4	5.41%
Toyota	22.6	23.0	23.2	23.8	5.31%
Nissan	22.3	23.3	23.7	23.9	7.17%
Ford	22.7	23.2	23.8	23.9	5.29%
Volkswagen	23.1	23.7	24.0	24.2	4.76%
Porsche	23.0	23.7	24.0	24.2	5.22%
Daimler Chrysler	23.2	23.7	24.1	24.3	4.74%
Honda	23.3	24.0	24.4	24.6	5.58%
Hyundai	23.9	25.0	25.0	25.4	6.28%
BMW	24.5	25.1	25.5	25.8	5.31%
Subaru	25.4	26.4	26.3	26.8	5.51%
Mitsubishi	25.1	25.8	26.3	27.0	7.57%
Suzuki	25.5	26.3	26.6	27.1	6.27%

Figura 3.15 – Estimativas das metas americanas para as montadoras

Fonte: NHTSA, 2006, *apud* ICCT, 2007

Respondendo à reclamação dos consumidores, a EPA recentemente ajustou o seu teste de consumo veicular para que este fosse mais fiel às condições do mundo real. Se por um lado isso não afeta as metas do programa CAFE, pelo menos os consumidores terão uma expectativa mais real do consumo de combustível do seu veículo. A elaboração de testes que representem um estilo de direção comum na vida real é um problema em todas as nações que tem metas de eficiência energética e de emissões de GEEs. O novo teste da EPA, que se aplica aos modelos de 2008 em diante, inclui os testes de consumo na cidade e na estrada que eram utilizados para os outros modelos, com testes adicionais para representar velocidades e acelerações maiores, o uso do ar-condicionado, temperaturas externas menores e resistência do vento e da estrada. A comparação de cada estágio do teste pode ser vista na tabela 3.3, a seguir

Tabela 3.3 – Testes aplicados pelo CAFE

Atributos do Teste					
	Cidade	Estrada	Velocidade Máxima**	Ar Condicionado**	Frio**
Velocidade máxima	56 mph	60 mph	80 mph	54.8 mph	56 mph
Velocidade média	20 mph	48 mph	48 mph	22 mph	20 mph
Aceleração Máxima	3.3 mph/sec	3.2 mph/sec	8.46 mph/s	5.1 mph/s	3.3 mph/s
Distância Simulada	11 mi.	10 mi.	8 mi.	3.6 mi.	11 mi.
Tempo	31 min.	12.5 min.	10 min.	9.9 min.	31 min.
Paradas	23	None	4	5	23
Ponto morto	18% do tempo	None	7% do tempo	19% do tempo	18% do tempo
Temperatura do motor*	Frio	Quente	Quente	Quente	Frio
Temp. do Laboratório	68-86°F			95°F	20°F
Ar condicionado	Desligado	Desligado	Desligado	Ligado	Desligado

* Um veículo não atinge a sua eficiência máxima enquanto o seu motor está frio.

** Novos testes aplicados

Fonte: http://www.fueleconomy.gov/feg/fe_test_schedules.shtml (fev, 2008)

Em abril de 2007, a Suprema Corte americana decidiu que as emissões de GEEs serão sujeitas a uma regulação federal, sob o Clean Air Act. Em resposta, a administração Bush assinou uma ordem executiva direcionada à EPA e ao Departamento de Transporte e Energia, para que eles desenvolvam legislações que possibilitem reduzir o consumo de petróleo em 20% em uma década. A administração sugeriu que essa meta fosse atingida aumentando-se o uso de combustíveis renováveis e alternativos e aumentando as metas do programa CAFE para carros e caminhonetes, o que produziria uma redução de 5% no uso de gasolina projetado.

O governo Americano está considerando várias medidas que aumentariam as metas do CAFE, ou que estabeleceriam metas de emissão de GEEs para veículos. Pela primeira

vez em vários anos, o senado aprovou uma medida que propõe o aumento das metas de eficiência veicular em 10 mpg em 10 anos, chegando a 35 mpg em 2020.

Leis federais obrigam os fabricantes de automóveis a determinar o consumo de combustível dos novos veículos à venda nos EUA. Esta informação é disponibilizada através de um selo de eficiência afixado na janela de cada novo veículo. Os selos podem variar um pouco em sua aparência, mas todos eles contém a mesma informação. Esse selo é mostrado na figura 3.16, a seguir.

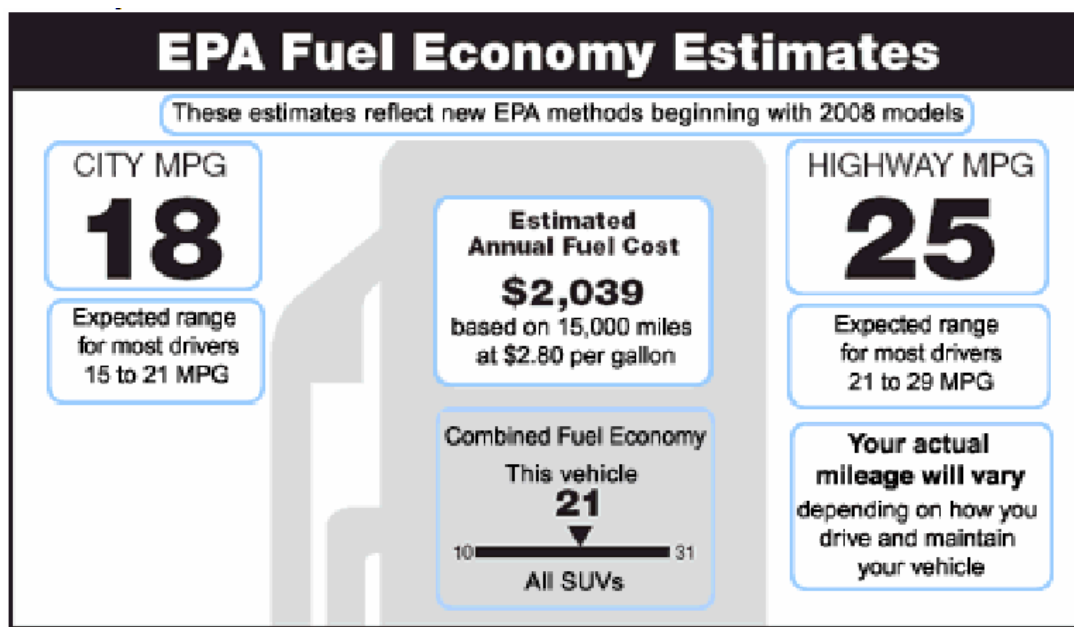


Figura 3.16 - Etiqueta de consumo veicular em adoção nos Estados Unidos

Fonte: http://www.fueleconomy.gov/feg/ratings_description.shtml (fev, 2008)

3.1.5 – Califórnia

Em 2002 a Califórnia aprovou a primeira lei estadual estipulando limites de emissão de gases de efeito estufa por veículos. A Câmara de Recursos do Ar da Califórnia (CARB) implementou uma legislação em setembro de 2004 limitando as emissões de GEEs de

veículos de passageiros, caminhonetes e de veículos médios de passageiros (medium duty passenger vehicles). Essa legislação se aplica a partir dos veículos modelo 2009. As metas vão se tornando mais restritas ano a ano, de modo que em 2016, a média dos novos veículos será 30% abaixo dos níveis de 2009. A tabela 3.4, a seguir, mostra as metas do CARB para carros de passageiros e caminhonetes pesando até 3.750 libras (PC/LDT1) e para caminhonetes e caminhões leves pesando entre 3.751 e 8.500 libras (LDT2).

Tabela 3.4 – Metas aprovadas na Califórnia

Timeframe	Year	GHG emission standard (CO _{2e} in g/mi)		CAFE-equivalent standard (mpg)	
		PC/LDT1	LDT2	PC/LDT1	LDT2
Near-term	2009	323	439	27.6	20.3
	2010	301	420	29.6	21.2
	2011	267	390	33.3	22.8
	2012	233	361	38.2	24.7
Medium-term	2013	227	355	39.2	25.1
	2014	222	350	40.1	25.4
	2015	213	341	41.8	26.1
	2016	205	332	43.4	26.8

Fonte: CARB, 2004, *apud* AN F. AND SAUER A. 2004

As emissões do ano de 2004 foram estimadas em 386,6 kton CO₂eq. por dia (PC/LDT1 e LDT2). O CARB estima que as metas de emissão de gases de efeito estufa irão reduzir as emissões projetadas da frota de veículos leves, em relação ao cenário de referência, em 17% em 2020 e em 25% em 2030 (CARB, 2004, *apud* ICCT, 2007). Após contabilizar o aumento da quilometragem média utilizada, as emissões de GEEs devem se estabilizar nos níveis de 2007 até o ano de 2020, com um modesto crescimento entre 2020 e 2030, como mostra a figura 3.16, a seguir.

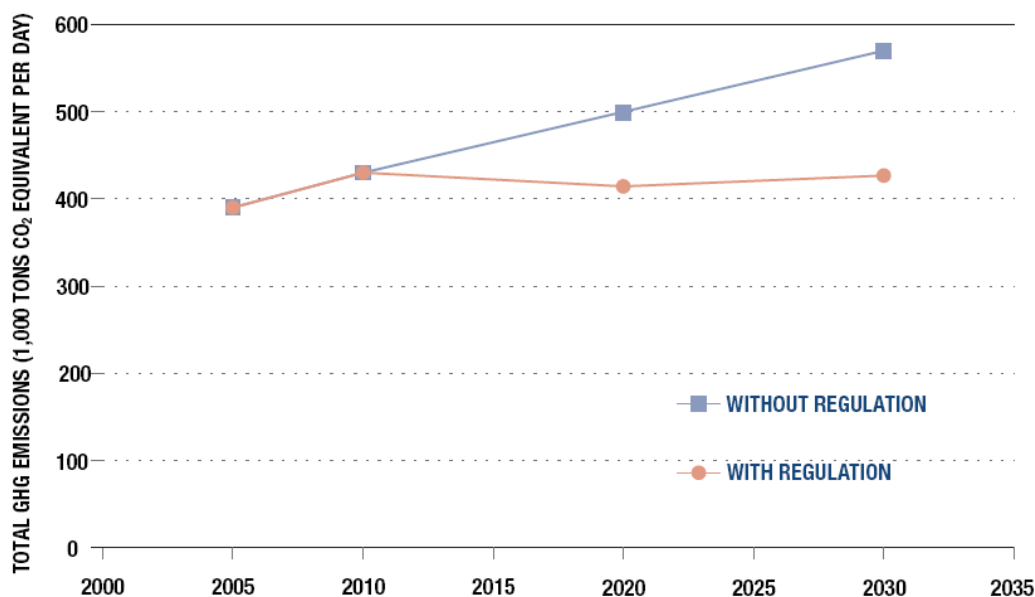


Figura 3.16 – Projeção das emissões de GEEs na Califórnia

Fonte: CARB 2004, *apud* ICCT, 2007

As metas da Califórnia cobrem todas as emissões de gases de efeito estufa relacionados à operação e ao uso de veículos:

- Emissões de CO₂, CH₄, N₂O resultantes diretas da operação do veículo;
- Emissões de CO₂ resultantes do consumo de energia decorrente do uso do ar-condicionado;
- Emissões de HFCs resultantes da utilização do ar-condicionado, devido a vazamentos, perdas durante a recarga de gás, ou de sucateamento do veículo no final de sua vida útil, e
- Emissões associadas com a produção do combustível utilizado pelo veículo.

Reduções de emissões não relacionadas à economia de combustível são esperadas a partir de uma série de medidas. As emissões de metano estão presentes no escapamento dos veículos em pequenos níveis, e o avanço nos catalizadores são uma maneira eficaz de diminuir essas emissões. O óxido nitroso (N₂O) proveniente de fontes móveis atingiu

13% do total emitido pelos EUA em 2001. Um recente estudo a respeito das desse gás descobriu que alguns veículos novos tem níveis baixíssimos de emissões, mas a razão técnica ainda não foi determinada. O uso de compressores mais eficientes e a diminuição dos vazamentos de gases refrigerantes nos sistemas de ar-condicionado dos veículos também podem levar a substanciais reduções na emissão de gases de efeito estufa. Veículos que utilizem combustíveis alternativos, incluindo híbridos, podem gerar créditos para o fabricante do veículo na proporção das emissões mitigadas (CARB, 2004, *apud* ICCT, 2007).

Desde que as metas do CARB entraram em vigor na Califórnia, outros onze estados adotaram as mesmas medidas. Se o programa conseguir superar as barreiras legais e atingir todos os estados americanos, essas metas poderiam reduzir as emissões de gases de efeito estufa proveniente de veículos numa proporção maior que de um carro novo a cada três, impactando significativamente nas emissões de toda a frota americana (ICCT, 2007).

3.1.6 – Canadá

O programa da Companhia Canadense de Consumo Médio de Combustível (CAFC) foi introduzido em 1976 para estimar o consumo de combustível da frota nova de veículos leves. A CAFC é similar ao programa americano CAFE, com a exceção que a CAFC não distingue entre automóveis feitos no país ou importados. O programa da CAFC tem sido voluntário desde que os fabricantes canadenses fizeram um acordo para atingir metas no começo dos anos 80. As metas de consumo de combustíveis traçadas pelo programa tem sido historicamente equivalentes às metas do CAFE. Entretanto, os consumidores canadenses tendem a comprar veículos mais eficientes que os

consumidores americanos, e a indústria automobilística como um todo tem conseguido consistentemente superar as metas, como pode ser visto na figura 3.17, a seguir:

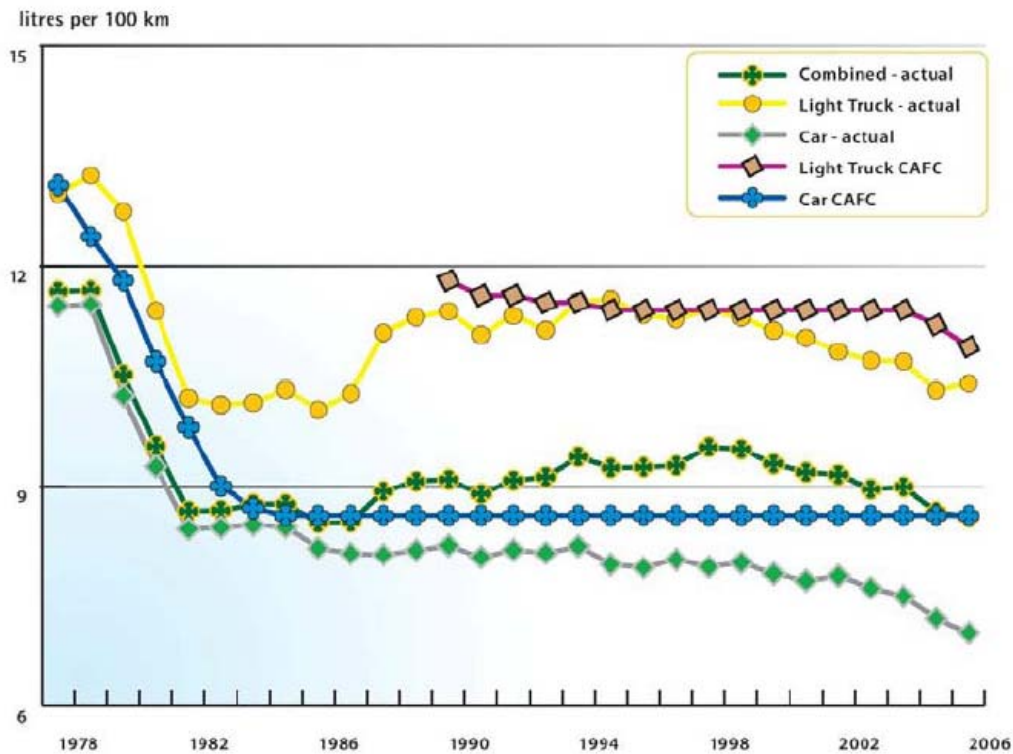


Figura 3.17 – Consumo dos veículos canadenses X metas CAFC

Fonte: TRANSPORT CANADÁ, 2008

A figura 3.18, a seguir, mostra que o consumo de gasolina no Canadá começou a cair em meados da década de 80. Os níveis de consumo de 1980 só foram atingidos novamente cerca de duas décadas depois, no final dos anos 90. Isso ocorreu após serem implementadas as metas de consumo veicular, e o patamar de 1980 só foi atingido porque o crescimento da frota e o maior uso dos veículos atualmente contrabalancearam a melhoria no consumo específico. Enquanto o número total de veículos aumentou mais que 50% em 2004 em relação a 1978, o uso total de gasolina cresceu apenas 10%. A figura 3.18 também ilustra como o consumo de gasolina teria crescido caso a eficiência média da frota tivesse continuado igual à de 1978.

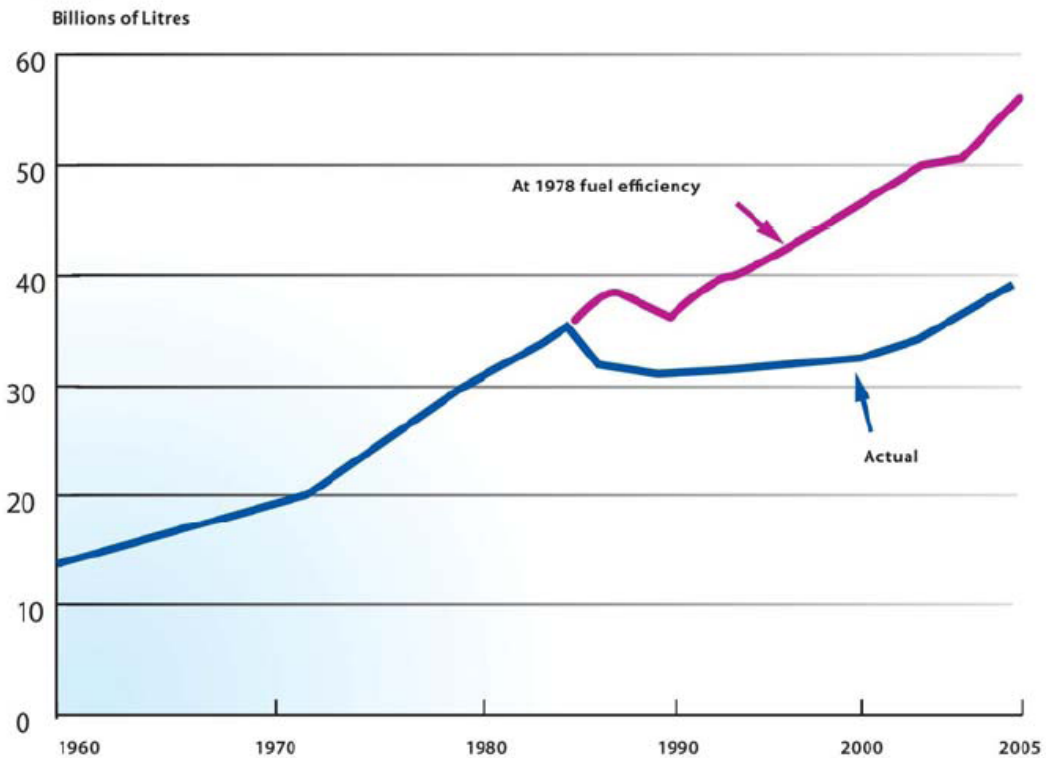


Figura 3.18 – Consumo de gasolina por veículos no Canadá, 1960 – 2005.

Fonte: Transport Canadá, 2008

É claro que os avanços tecnológicos nos veículos nos anos recentes foram introduzidos para melhorar a potência e a performance, mais do que para aumentar a eficiência do automóvel. A figura 3.19, a seguir, mostra as tendências de consumo médio, peso e potência, entre 1979 e 2004 para veículos novos. Todos são representados como índices, com 1979 representando 100. O consumo específico de combustível mostra uma redução substancial de mais de 25% entre 1979 e 1982. Depois dessa data o consumo piorou gradualmente entre os anos 80 e 90, retornou a melhorar em 2000, e em 2004 estava 24% abaixo dos níveis médios de 1979.

No mesmo período, a figura mostra que o peso médio dos veículos caiu bastante nos primeiros anos, 17% entre 1979 e 1982, mas em seguida subiu significativamente na maioria dos anos e em 2004 estava cerca de 5% acima do valor de 1979.

A tendência na potência média dos motores é muito mais alarmante. A figura mostra que a potência também caiu inicialmente, mais de 20% entre 1979 e 1982. Entretanto a potência subiu consistentemente em quase todos os anos e em 2004 estava 53% acima do nível de 1979.

Essas tendências indicam que o programa CAFC produziu melhorias substanciais no consumo específico de combustível, e o tem mantido por mais de duas décadas, mas o aumento na potência média dos veículos impediu uma melhoria ainda maior nos níveis de eficiência.

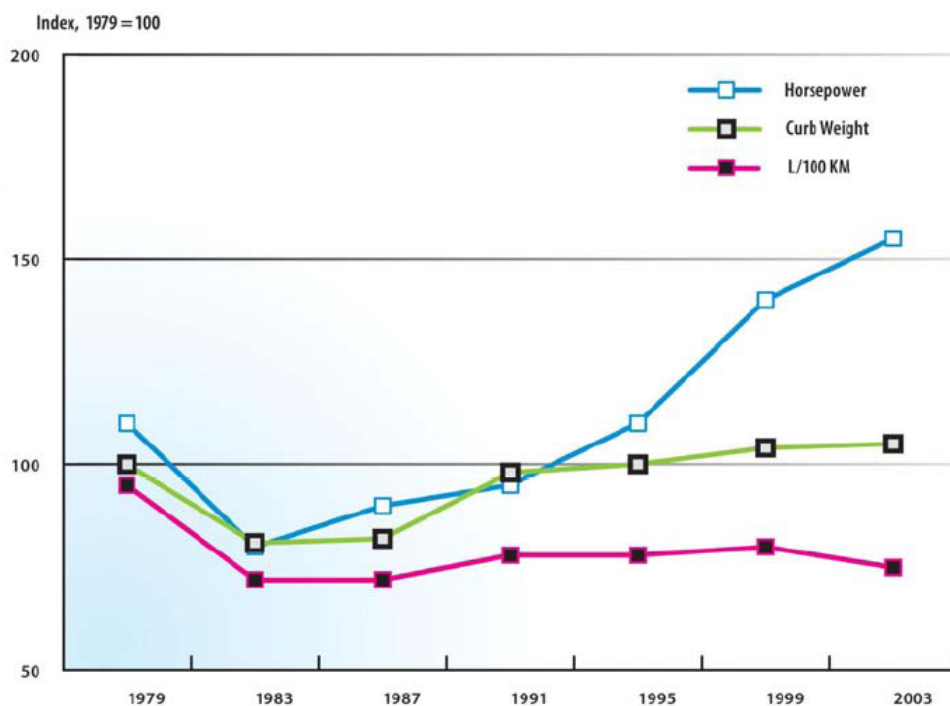


Figura 3.19– Consumo específico, potência e peso nos veículos leves canadenses entre 1979 e 2004

Fonte: TRANSPORT CANADA, 2008

No ano 2000, o governo canadense sinalizou a sua intenção de buscar uma diminuição de emissões de gases de efeito estufa através um acordo voluntário com os fabricantes de automóveis. As negociações culminaram com a assinatura de um Memorando de Entendimento (MOU) em 2005. No MOU, os fabricantes de veículos se comprometeram a reduzir as emissões dos veículos em 5,3 Mt de CO₂eq. por ano em 2010 em relação ao cenário de referência (MOU, 2005 *apud* ICCT, 2007). Essa meta de 5,3 Mt foi baseada numa redução de 25% no consumo de combustíveis do segmento.

Como o cenário de referência já inclui algumas reduções no consumo de combustível e emissões de GEEs no período até 2010, esforços adicionais serão requeridos pela indústria automotiva além dessas reduções para se atingir a meta de 5,3 Mt. A figura 3.20, a seguir, ilustra o cenário de referência e as emissões estimadas segundo o MOU.

Um comitê misto, formado pelo governo e pela indústria, foi estabelecido para verificar o progresso do MOU. O comitê é responsável por reportar o progresso em três metas intermediárias de redução de CO₂eq., de 2,4 Mt em 2007, 3,0Mt em 2008 e 3,9 Mt em 2009, assim como os resultados sobre a meta de 5,3 Mt em 2010.

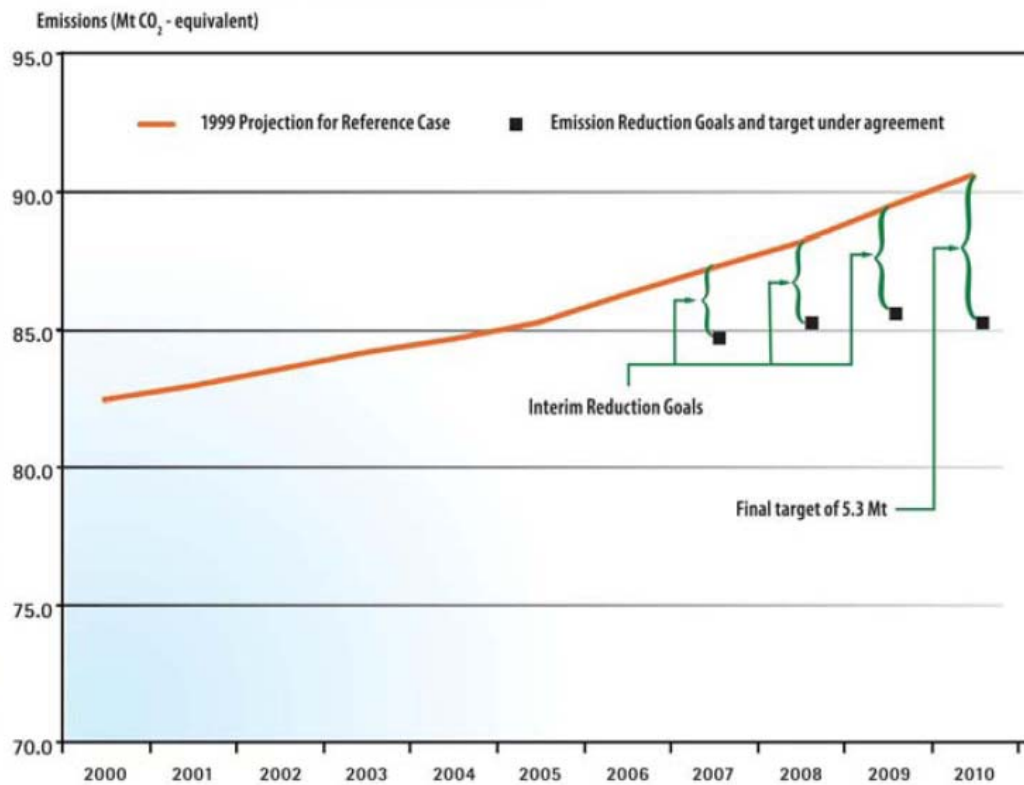


Figura 3.20 – Emissões de GEEs de veículos leves: Cenário de referência e metas do MOU

Fonte: TRANSPORT CANADÁ, 2008

Para carros e caminhonetes, uma redução no consumo de 18% entre 2004 e 2009 é suficiente para atingir as metas do MOU para 2009 e 2010. Isso seria equivalente a aumentar a eficiência média dos veículos novos em 5,8 mpg (6,8 mpg para carros e 4,9 mpg para caminhonetes) (N. LUTSEY, D. SPERLING, 2007). O resultado das reduções de emissões de gases de efeito estufa pode ser observado na figura 3.21, a seguir.

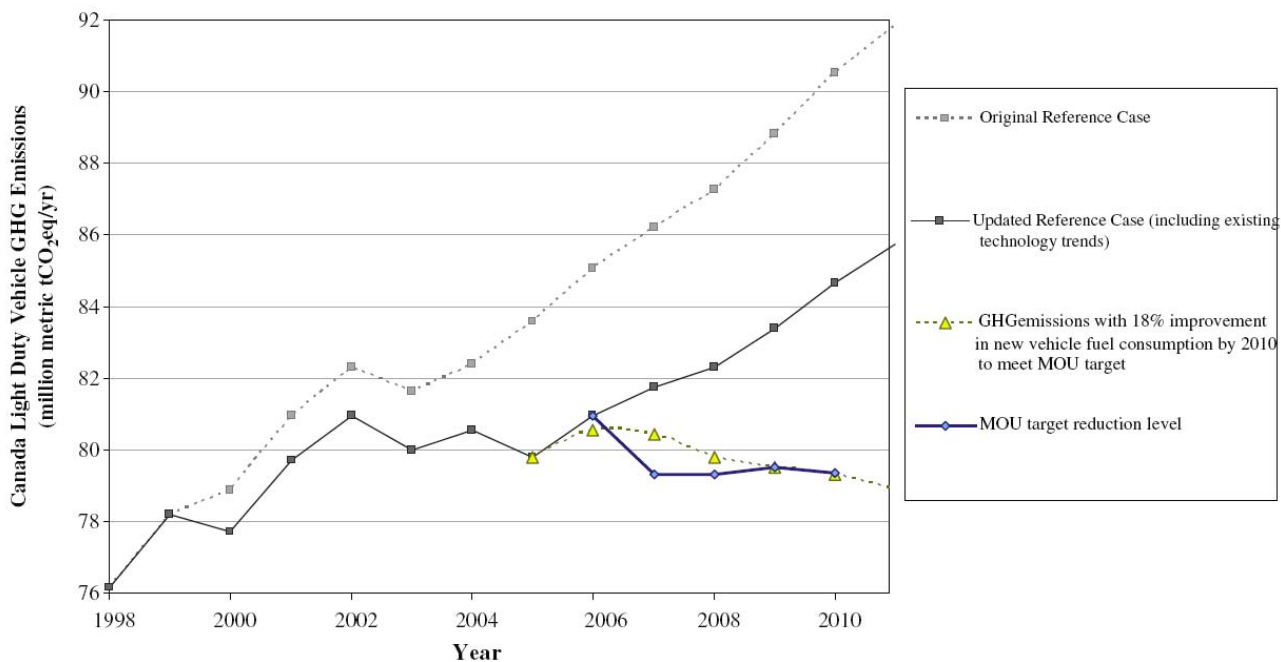


Figura 3.21 – Emissões de GEEs por veículos leves no cenário de referência, no cenário de referência atualizado para as novas tendências tecnológicas e para o cenário mais eficiente para atingir as metas do MOU em 2009 e 2010.

Fonte: N. LUTSEY, D. SPERLING, 2007

Em adição às medidas tomadas pelo governo federal, algumas províncias canadenses anunciaram seus próprios planos para incentivar ainda mais a redução de emissões de GEEs provenientes dos veículos motorizados. As províncias de Quebec, Columbia Britânica e Nova Escócia anunciaram planos para a adoção de novas metas de emissões de GEEs comparáveis às metas da Califórnia.

Em um programa gerenciado pelo Office of Energy Efficiency (OEE) em articulação com o programa de economia de energia promovido desde os anos oitenta pelos ministérios de transportes e recursos naturais desse país, se adota em bases voluntárias a etiqueta apresentada na figura 3.22, e aplicada a todos os veículos até 3.855 kg. Essas etiquetas devem ficar nos veículos novos até que eles sejam vendidos.



Figura 3.22 - Etiqueta de consumo veicular adotada no Canadá

Fonte: <http://oee.nrcan.gc.ca/transportation/personal/buying/energuide-label.cfm?attr=16#>
(fev, 2008)

3.1.7 – Coréia do Sul

A Coréia do Sul estabeleceu metas de consumo de combustível em 2004 para substituir um sistema voluntário. Começando em 2006 para veículos domésticos e em 2009 para importados, as metas foram definidas em 34,4 mpg para veículos com motores menores que 1,5 litros e 26,6 mpg para veículos acima de 1,5 litros. Os fabricantes podem acumular créditos para períodos em que a média de sua frota não atinja esses valores. O programa tem demonstrado um grande progresso nesses primeiros anos. Entretanto o percentual de veículos que se encaixam na faixa superior de motorização vem gradualmente aumentando, enquanto que as metas permanecem constantes de 2006 em diante. Como resultado, é esperado que a eficiência média da frota na Coréia do Sul vá diminuindo com o passar do tempo.

Essa tendência é exposta na tabela 3.5, a seguir. O Ministério do Comércio e o Ministério do Meio Ambiente da Coréia do Sul estão discutindo novas medidas como tornar mais rigorosas as metas de eficiência ou introduzir metas de emissão de CO₂.

Tabela 3.5 – Número de veículos leves registrados por tamanho do motor (com projeção), e eficiência média da frota na Coréia do Sul

CATEGORY BY ENGINE SIZE	NUMBER OF VEHICLES REGISTERED						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<1,500 cc	5,651,382	5,832,221	6,043,342	6,286,954	6,509,959	6,724,541	6,907,027
≥ 1,500 cc	4,744,232	5,032,690	5,322,161	5,608,959	5,901,817	6,180,446	6,450,052
	SHARE						
<1,500 cc	54.4%	53.7%	53.2%	52.8%	52.4%	52.1%	51.7%
≥ 1,500 cc	45.6%	46.3%	46.8%	47.2%	47.6%	47.9%	48.3%
	FLEET AVERAGE FUEL ECONOMY						
	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7	30.7	30.6

Fonte: YOUNGIL JEONG, 2007, *apud* ICCT, 2007

Outra iniciativa de etiquetagem que compara modelos vem sendo implementada pela Korea Energy Management Corporation (KENCO), empregando aos automóveis uma concepção idêntica à adotada aos eletrodomésticos, classificando os diversos veículos em termos de consumo específico de combustível onde o primeiro nível (1) corresponde a um equipamento que economiza de 30 a 40% a mais que o último nível (5), conforme a figura 3.23 a seguir.



Figura 3.23 - Etiqueta de consumo veicular adotada na Coréia

Fonte: Disponível em http://www.kemco.or.kr/english/sub03_energyefficiency_sub06.asp

O propósito desse programa coreano de etiquetagem, assim como os outros ao redor do mundo, é economizar energia, permitindo facilmente aos consumidores a identificação dos produtos com alta eficiência, encorajando os fabricantes a produzirem e venderem produtos com essas características.

3.1.8 – Austrália

A Câmara Federal das Indústrias Automotivas (FCAI) estabeleceu algumas metas voluntárias para a redução do consumo específico de combustível dos novos veículos vendidos na Austrália durante os últimos 25 anos. A primeira meta entrou em vigor entre 1978 e 1987. Como pode ser observado na figura 3.24, a seguir, a indústria automotiva daquele país falhou no cumprimento das metas durante os anos 80. Entretanto, as reduções nos níveis de consumo foram significativas durante esse período.

A segunda meta voluntária foi criada pelos Ministérios do Transporte e das Indústrias Primárias e Energia no começo de 1996. Os membros do acordo declararam o seu objetivo de reduzir a média de consumo dos carros de passageiros para 8.2 L/100 km no ano 2000. Além disso, os membros da FCAI acordaram manter a taxa de aumento de eficiência alcançada entre os anos 2000 e 2005. Esse acordo ficou em vigor até julho de 2001.

Em 2003, a Austrália anunciou um terceiro acordo voluntário de eficiência veicular entre a FCAI e o governo. Esse acordo remete a indústria a uma redução de consumo médio da frota de veículos leves em 18% em 2010, baseada no consumo médio da frota de 2002. Os membros da FCAI que fizeram esse acordo incluem os quatro fabricantes nacionais de veículos e todos os maiores fabricantes internacionais que vendem e montam carros na Austrália. Como os dois primeiros acordos, ele não é obrigatório, e não existe nenhum tipo de pena para os fabricantes que não atingirem as metas.

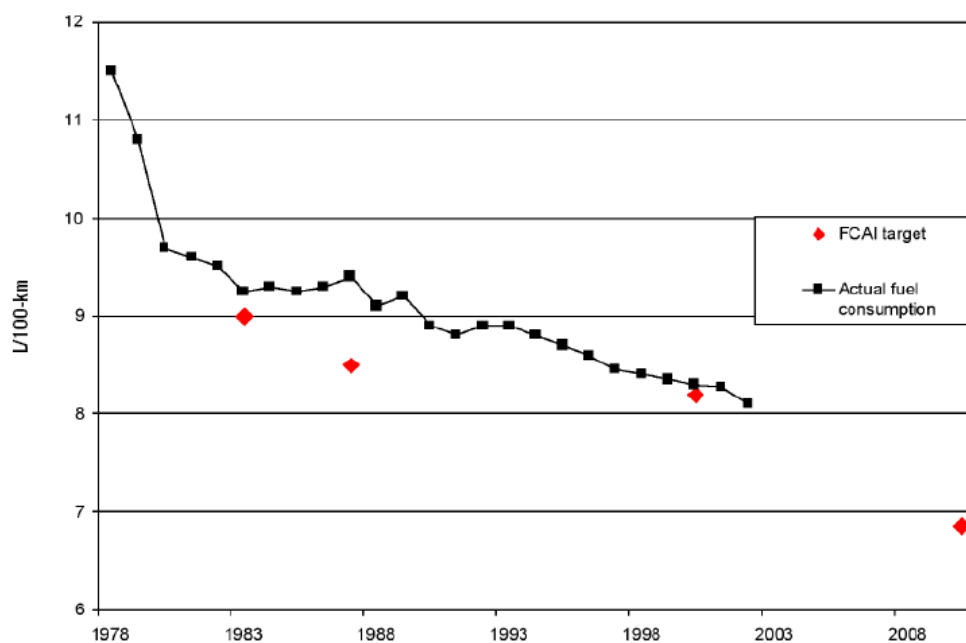


Figura 3.24 – Consumo médio dos veículos leves australianos e as metas da FCAI

Fonte: AUSTRALIAN AUTOMOBILE ASSOCIATION e FCAI, *apud* AN F. AND SAUER A., 2004

3.1.9 – Taiwan

Taiwan estabeleceu metas de consumo de combustível para veículos novos antes que resto da China adotasse suas metas. Essas metas são baseadas em sete categorias de tamanho de motor, medidas em volume. As metas incluem todos os veículos de passageiros, caminhonetes e veículos comerciais leves, a gasolina e a diesel, com peso inferior a 2.500 Kg. Existe uma meta diferente para motocicletas. Taiwan utiliza os ciclos de testes do programa americano CAFE para determinar o consumo de combustível. A tabela 3.6, a seguir, mostra as metas de consumo de acordo com o tamanho do motor.

Tabela 3.6 – Metas de consumo de combustível em Taiwan

Vehicle engine size (by cylinder volume displacement)	Fuel economy standard	
	km/L	mpg (CAFE-equivalent)
(cm ³)		
<1,200	15.4	36.2
1,200–1,800	11.6	27.3
1,801–2,400	10.5	24.7
2,401–3,000	9.4	22.1
3,001–3,600	8.5	20.0
3,601–4,200	7.8	18.3
>4,201	7.2	16.9

Fonte: AN F. AND SAUER A. 2004

3.2 – Comparação dos Programas de Eficiência para Veículos Leves no Mundo

Neste item serão comparadas as metas de eficiência energética para veículos leves e de fatores de emissão de GEEs na Austrália, Califórnia, Canadá, China, União Européia,

Japão, Coréia do Sul, Estados Unidos e Taiwan. A rigidez de cada meta é fortemente influenciada pelo teste usado para medição do consumo ou das emissões. Durante as últimas décadas, a Europa, Japão e Estados Unidos desenvolveram testes para reproduzir as condições reais de uso do veículo. Como resultado, o mesmo veículo testado no Japão pode ter um resultado diferente se testado na Europa ou nos EUA. Para permitir uma comparação justa, cada meta foi ajustada para uma referência comum pela metodologia desenvolvida originalmente por AN AND SAUER (2004).

Os tomadores de decisão normalmente se deparam com um grande número de opções à sua frente quando planejam as metas a serem seguidas: metas únicas para toda a frota ou metas divididas segundo o tamanho do veículo, seu peso, tamanho do motor; o ciclo de testes a ser utilizado e se as metas serão voluntárias ou obrigatórias. A tabela 3.7, a seguir, resume as escolhas feitas em diversas partes do mundo.

Tabela 3.7 – Comparação entre os programas de eficiência no mundo

País	Início	Implementação	Parâmetro	Veículos	Critério
Austrália	1983	Voluntária	litros / 100 km	Carros e utilitários leves	Tamanho
Brasil (proposta)	2008	Voluntária	MJ / km	Carros e utilitários leves	Tamanho
Canadá	1976	Voluntária	litros / 100 km	Carros e caminhões leves	Tipo
Cingapura	2005	Voluntária	km / litro	Carros	Cilindrada
China	2005	Compulsória	litros / 100 km	Carros	Peso
China / Taiwan	2001	Compulsória	km / litro	Carros e utilitários leves	Cilindrada
Coréia do Sul	2004	Compulsória	km / litro	Carros	Cilindrada
Estados Unidos	1975	Compulsória	milhas / galão	Carros e caminhões leves	Peso
EUA / Califórnia	2002	Compulsória	gramas de CO ₂ / milha	Carros e utilitários leves	Tipo
Japão	1998	Compulsória	km / litro	Carros e utilitários leves	Peso
Nova Zelândia	2003	Voluntária	litros / 100 km	Carros	Único
Reino Unido	2005	Voluntária	gramas de CO ₂ / km	Carros e utilitários leves	Único
União Européia	1998	Voluntária	gramas de CO ₂ / km	Carros e utilitários leves	Único

Fonte: ALZUGUIR, C. D., CORDEIRO, T., 2007.

No Brasil existe uma proposta que deve ser implementada até o final de 2008. Sabe-se que ela será inicialmente voluntária para carros e utilitários leves, segundo o seu tamanho. O parâmetro de comparação de eficiência energética utilizado será de MJ/km, o que facilitará na avaliação dos resultados de consumo de veículos utilizando combustíveis diferentes.

Para se comparar as metas ao redor do mundo, foram utilizados as unidades “milhas por galão” para o consumo de combustível, ajustado segundo o teste do CAFE, e “g CO₂eq./Km” para a emissão de GEEs, segundo o ciclo europeu.

Para transformar metas de consumo em metas de emissão de GEEs, foi utilizada a tabela 3.8, a seguir (ICCT, 2007).

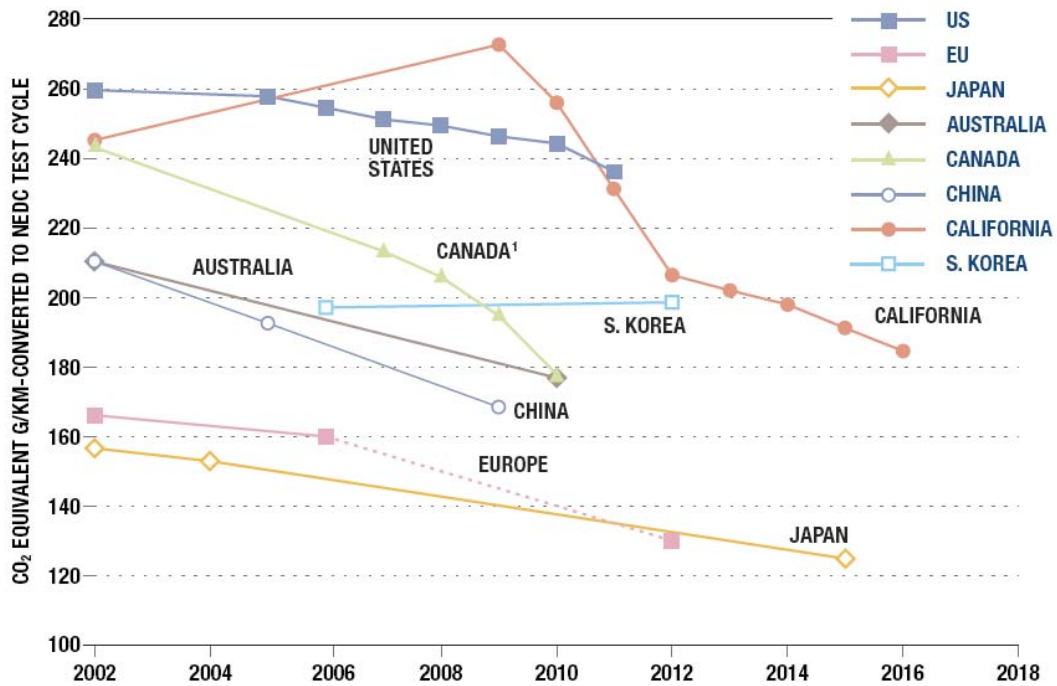
Tabela 3.8 – Fatores de conversão utilizados

METRIC	STANDARD X	STANDARD Y	CONVERSION
Fuel economy	km/L	mpg	$Y = X * 2.35$
	L/100 km	mpg	$Y = 235.2/X$
	CO ₂ g/km	mpg*	$Y = 5469/X$
GHG standard	km/L	CO ₂ g/km	$Y = 2325/X$
	L/100 km	CO ₂ g/km	$Y = X * 23.2$
	mpg	CO ₂ g/km	$Y = 5469/X$

Fonte: ICCT, 2007

A figura 3.25, a seguir, compara as metas em gramas de CO₂ equivalente por quilômetro, ajustadas para o ciclo de testes europeu. A Europa e o Japão lideram o mundo na redução de emissões de GEEs da sua frota de veículos leves. Na maioria dos anos até 2015, as metas japonesas são as mais rígidas, com a Europa bem próxima, em segundo lugar. No final dos seus períodos regulatórios, a nova frota japonesa terá um fator de emissão estimado em 125 g CO₂eq./Km em 2015. Já a Europa tem a meta de 130 g CO₂eq./Km três anos antes, em 2012. Espera-se que a frota nova dos EUA

continue sendo a mais intensiva em carbono nos próximos anos. A Califórnia tem programado um grande avanço percentual nas metas de emissões de GEEs, principalmente nos primeiros anos de seu programa. Países como China, Canadá e Austrália possuem metas bem semelhantes.

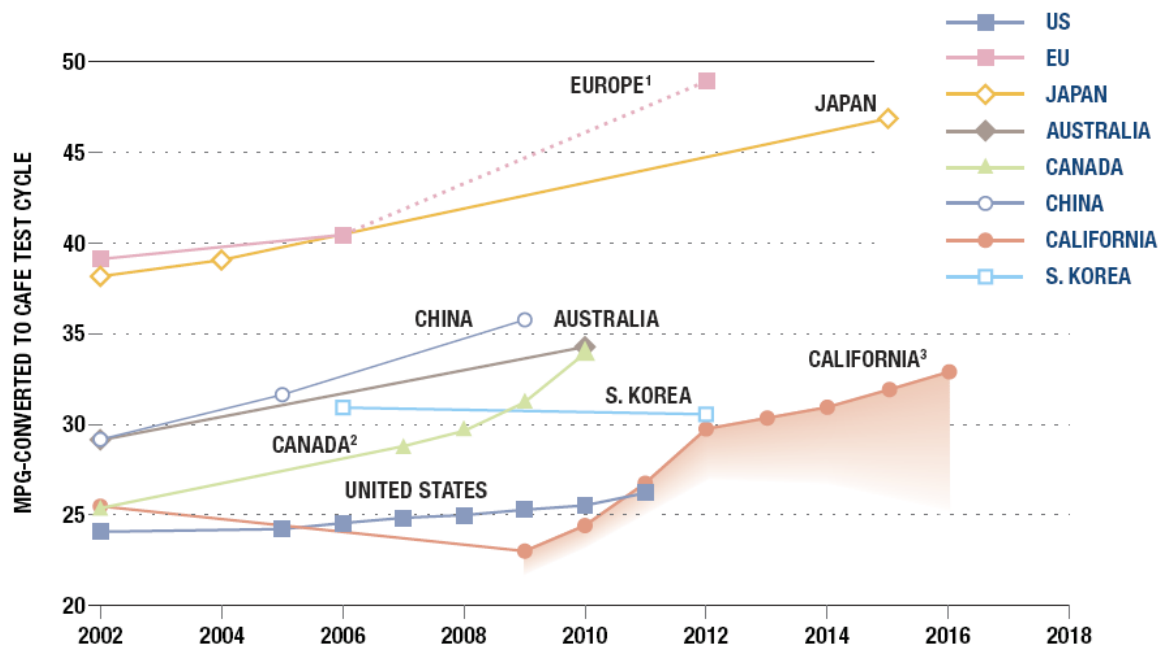


[1] No Canadá a meta abrange também a frota antiga.

Figura 3.25 – Comparação das metas de emissão de GEEs padronizadas

Fonte: ICCT, 2007

A figura 3.26, a seguir, mostra as metas atuais e projetadas entre 2002 e 2018 para novos veículos, normalizadas segundo o ciclo de testes do CAFE, em milhas por galão. Em 2006, a Europa e o Japão tem as metas mais restritivas no mundo, com um consumo estimado de 40 milhas por galão (cerca de 17 km/l) para os dois países. Espera-se que a Europa lidere o mundo nas metas para consumo de combustível pelo menos até 2015, principalmente devido ao uso de motores a diesel, de maior eficiência energética, na sua frota leve.



- [1] A aparente discrepância entre a performance europeia e japonesa nas metas de consumo e de emissões é devido à maior eficiência energética dos motores.
- [2] No Canadá a meta abrange também a frota antiga.
- [3] A área sombreada sob a curva da Califórnia representa a incerteza relacionada a medidas de redução de emissões dos fabricantes, como ar-condicionados mais eficientes, combustíveis alternativos e veículos híbridos.

Figura 3.26 – Comparação das metas de consumo padronizadas

Fonte: ICCT, 2007

A aparente discrepância entre a performance europeia e japonesa nas metas de consumo e de emissões é devido ao grande número de veículos a diesel na frota da Europa. O diesel contém 10% mais carbono e energia que a gasolina, como resultado, a economia dos motores a diesel é aumentada. Entretanto, quando comparados por fator de emissão, o maior conteúdo de carbono do diesel é levado em conta, contrabalanceando o seu maior conteúdo energético.

3.3 Programa Brasileiro de Eficiência Veicular

3.3.1 – Antecedentes e marco legal

A crescente preocupação brasileira com a eficiência energética tem resultado em programas de redução das emissões de veículos automotores e do desperdício de energia, sendo a matéria objeto de normatização pelo Poder Público há algumas décadas, de tal forma que a legislação do setor tem se consolidado de maneira progressivamente abrangente. A seguir, breves comentários sobre os principais marcos desse processo serão descritos, segundo CONPET (2005), que propiciam um ambiente favorável à implementação de um programa nacional de eficiência veicular.

Entre 1983 e 1986 foram publicados anualmente encartes intitulados “ESCOLHA CERTO - Guia de consumo de seu carro”, contendo informações acerca dos níveis de consumo dos automóveis nacionais e dos diferentes modelos disponíveis no mercado, como pode ser observado nas figuras 3.27 e 3.28. No período foram ainda estabelecidas metas de consumo a serem progressivamente atingidas pelos fabricantes nacionais, considerando a média ponderada simples do consumo, tendo como parâmetro todas as configurações entregues ao mercado.



Figura 3.27 - Publicações do Programa de Economia de Combustíveis (PECO), STI/MIC, 1983/1986

Fonte: NOGUEIRA E BRANCO, 2005

CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS BRASILEIROS (MODELO 86)

FABRICANTE MODELO	TRANSMISSÃO	ALIMENTAÇÃO	N° CILINDROS	CILINDRADA (cm ³)	TAXA DE COMPRESSÃO	POTÊNCIA MÁXIMA (kW/rpm)	MOMENTO DE FORÇA MÁX. (Nm./rpm)	DIMENSÃO DO VEÍCULO			CARGA MÁXIMA (kg)	PASSAGEIROS	TANQUE (l)	CONSUMO				
								COMPRIMENTO (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)				CIDADE	ESTRADA			
																CONSUMO B6 (Km/l)	CONSUMO B5 (Km/l)	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰		
FIAT – ALCOOL																		
ALFA ROMEO	M5	CD	4	2310	10,8:1	84,6/5500	18,1/3600	472	189	138	1410	400	5	100	5,3	8,4	5,3	8,4
UNO S	M4	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	364	155	145	820	428	5	55	8,7	12,4	8,7	12,4
UNO S	M5	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	364	155	145	823	423	5	55	8,9	13,0	—	—
UNO CS	M4	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	364	155	145	827	419	5	55	8,7	12,4	8,7	12,4
UNO CS	M5	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	364	155	145	830	416	5	55	8,9	13,0	8,9	13,0
UNO SX	M5	CD	4	1298	10,8:1	51,5/5800	10,4/3000	364	156	145	846	400	5	55	8,6	12,7	8,6	12,7
PRÊMIO S	M4	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	404	155	145	837	428	5	55	8,5	12,0	—	—
PRÊMIO S	M5	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	404	155	145	840	425	5	55	8,6	12,7	—	—
PRÊMIO CS	M4	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	404	155	145	852	413	5	55	8,5	12,0	—	—
PRÊMIO CS	M5	S	4	1298	10,8:1	43,9/5200	9,8/2600	404	155	145	855	410	5	55	8,6	12,7	—	—

Figura 3.28 - Exemplo de resultados do Programa de Economia de Combustíveis (PECO), STI/MIC, 1983/1986

Fonte: NOGUEIRA E BRANCO, 2005

Tais medidas foram produto de um programa nacional de eficiência nos veículos automotivos, o Programa de Economia de Combustíveis (PECO), formalizado mediante

um protocolo entre o Governo (MIC, MME) e as montadoras (ANFAVEA) e implementado pelo STI/MIC no período mencionado. Nesse programa, os valores de consumo eram fornecidos pelos fabricantes e, caso julgasse necessário, a STI realizava ensaios de verificação.

É importante salientar que o supracitado Programa de Economia de Combustíveis, por sua vez, teve como pressuposto a existência da norma ABNT NBR 7024 “Medição do Consumo de Combustível de Veículos Rodoviários Automotores Leves” que permitiu a padronização da metodologia de ensaios, baseando-se na simulação de ciclo de condução real do veículo em cidade e em estrada. Esta norma foi revisada pelo Comitê Brasileiro Automotivo (CB-05) da Associação Brasileira de Normas Técnicas em 2002 e encontra-se em plena vigência.

Infelizmente, apesar de o PECO ter alcançado bons resultados na redução de consumo e ganho de eficiência, não suportou a queda dos preços do petróleo a partir de 1985, quando então o governo desviou suas prioridades, descontinuando-o em 1987. Sem muito sucesso, surgiram posteriormente tentativas de reproduzir o Programa de Economia de Combustíveis, especialmente através do Programa Nacional de Certificação de Conformidade de Veículos Automotores - PROVEN (Resolução CONMETRO 01/1987), coordenado pelo INMETRO após a extinção da STI (NOGUEIRA E BRANCO, 2005).

Vale lembrar que as crises na indústria petrolífera desencadearam-se já na década de setenta, quando se mostrou premente a implementação impositiva, pelo Governo, de medidas específicas objetivando a promoção da eficiência energética. Nesse contexto, nasceu o Programa de Conservação de Energia do Setor Industrial - CONSERVE, que

tornou compulsória, a partir de 1981, a formação das CICE's (Comissões Internas de Conservação de Energia), definiu níveis máximos de consumo de óleo combustível, valorizou a lenha e eventuais subprodutos de processo como combustível industrial e induziu o uso de eletricidade como fonte de aquecimento em processos industriais.

Criado pelo MME e executado pela Eletrobrás, surge, em 1985, o Programa de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, que tem atuado decisivamente na formação de uma cultura brasileira para a eficiência energética. Cumpre salientar, contudo, que esse programa foi elaborado dentro de um novo contexto econômico, tendo em vista que, em meados da década de oitenta, os preços dos derivados de petróleo voltaram a níveis mais toleráveis e a crise dos combustíveis cedeu lugar à crise do suprimento de energia elétrica. Nesse novo quadro, posteriormente, foi criado o CONPET - Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural, em 1991. Tal programa, executado pela Petrobrás, visava impulsionar o uso eficiente de combustíveis, promovendo, como tema estratégico, o caso dos veículos leves (NOGUEIRA E BRANCO, 2005).

Sob a coordenação do INMETRO, ambos os programas brasileiros de promoção da eficiência energética destacam-se pela adoção de uma medida eficaz: a etiquetagem dos equipamentos e sistemas energéticos, que abrange hoje diversos produtos, desde coletores solares e fogões a gás até motores elétricos e geladeiras. Destaque-se que, buscando assegurar a conformidade e agregando um novo valor aos produtos e serviços oferecidos, a etiquetagem do desempenho e da eficiência também atende aos objetivos de racionalizar a demanda energética e atuar como um componente da política industrial, além de defender os direitos do consumidor. Todo o processo passa por uma

sistemática consolidada de procedimentos e divulgação de resultados, alcançada através da articulação de fabricantes de equipamentos, entidades de classe e órgãos de governo.

No mesmo sentido, a crescente conscientização acerca dos danos causados pela poluição atmosférica à saúde e ao bem estar da população teve como consequência a instituição do PROCONVE, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Resolução CONAMA 18/1986, posteriormente consolidado pela Lei 8723/93, de outubro de 1993 e diversas resoluções complementares do CONAMA), que se fez possível através da proveitosa cooperação entre entidades privadas (ANFAVEA), estaduais (CETESB) e federais (SEMA, STI, CNP, GEIPOT) e da definição da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, como o braço técnico e operacional do programa (LIMA/COPPE/UFRJ, 2005).

Através da progressividade de etapas, traçadas até o ano de 2009 e já implementadas em cinco fases para veículos leves e seis para pesados, o PROCONVE estabeleceu limites às emissões dos veículos novos, de modo que todos os modelos de automóveis do mercado brasileiro são ensaiados durante sua homologação obrigatória, para atestar seu atendimento aos tetos máximos de emissões. Importante avanço nesse sentido é o credenciamento, pelo INMETRO, de instalações laboratoriais que alcançaram um nível necessário e suficiente à realização de ensaios de motores regularmente de forma independente.

Conquanto se destinem primordialmente à homologação de veículos novos, do ponto de vista dos tetos máximos de emissões, os dados gerados pelo PROCONVE são de grande valia para subsidiar a análise das informações fornecidas pelos fabricantes acerca dos

níveis de consumo de combustível, a serem empregados no preparo das tabelas de consumo veicular divulgadas aos consumidores.

Isto porque a relação existente entre o desempenho energético e ambiental dos automóveis é de suma importância. Frise-se que o PROCONVE estabelece níveis máximos de emissão para homologação, cujo desatendimento leva à transgressão legal. Os indicadores de consumo, por sua vez, não se encontram limitados, podendo ter uma ampla variação. A idéia de que os motores mais eficientes são também os menos poluentes é, na maioria das vezes, verdadeira, e, particularmente tratando-se das emissões de CO₂, a assertiva é incontestável. Todavia, em determinados casos, o melhor desempenho energético de alguns motores pode resultar em maiores emissões de alguns poluentes.

A Lei 10.295¹⁷, de 17 de outubro de 2001, representou um significativo marco na legislação brasileira sobre eficiência energética, em uma acepção ampla e incluindo todos os sistemas que consomem energia. O referido diploma legal dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, objetiva a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente, define a necessidade de limites mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país e prevê o estabelecimento de metas e a realização de audiências públicas para estabelecimento dos limites mínimos de eficiência. A Lei 10.295/01 foi regulamentada pelo Decreto 4.059 em dezembro de 2001, que instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a participação do MME, MCT, MDIC, ANEEL, ANP, um representante da comunidade acadêmica e um cidadão brasileiro, em ambos

¹⁷ A Lei 10.295, ou Lei de Eficiência Energética, é apresentada no Anexo 1 deste trabalho.

casos designados pelo MME. O CGIEE fica responsável pelo estabelecimento de um Programa de Metas e pela elaboração de um regramento específico para cada tipo de máquina ou aparelho. Ressalte-se que em sua primeira reunião, realizada em janeiro de 2005, o CGIEE definiu o desenvolvimento de normas de eficiência energética com foco prioritário nos veículos leves (NOGUEIRA e BRANCO, 2005).

Vale ainda destacar a existência de outros diplomas legais, não tão específicos, mas que igualmente demonstram preocupação com o estabelecimento de um programa de difusão de indicadores de desempenho. Dentre outros, temos o Código de Defesa do Consumidor (Lei 8078 de 11 de setembro de 1990), que traz a obrigatoriedade da divulgação das características técnicas dos equipamentos e, no mesmo sentido, a Lei dos Crimes Ambientais (Lei 9.065 de 12 de fevereiro de 1998) determina a comunicação aos consumidores dos assuntos de seu interesse e de implicação ambiental, como é o caso do consumo e das emissões dos veículos.

3.3.2 – Moldes para um Programa Brasileiro de Eficiência Veicular

Foram apontados acima os principais marcos do processo brasileiro até então vivenciado na seara da redução das emissões de veículos automotores e do fomento à eficiência energética, assim como a experiência internacional nos programas de eficiência energética para veículos leves. Segundo o CONPET (2005), uma seqüência de fases descreve, de forma progressiva, a introdução de limites de desempenho em equipamentos energéticos, procedimento que deve ser desenvolvido através da articulação entre instituições públicas, montadoras e representantes da sociedade, a fim de que possa ser implementado no Brasil um Programa de Eficiência Veicular efetivo.

a) Padronização de procedimentos replicáveis para ensaios e testes de veículos.

Este processo admite três alternativas para a aferição do consumo de combustível: medições diretas de massa ou do volume consumido ou o cálculo da massa de combustível a partir do balanço de carbono considerando as massas de poluentes emitidos durante o ensaio. Utiliza-se nesta norma o mesmo ciclo de condução urbano empregado habitualmente nas medições controladas das emissões veiculares, de modo que é viável resgatar os dados de emissão e, conseqüentemente, de consumo urbano de todos os modelos certificados pelo IBAMA para o mercado brasileiro desde 1988, o que representa uma excelente ferramenta para a caracterização do histórico da eficiência energética dos veículos leves no Brasil. Diferentemente, para a aferição do consumo no ciclo estrada, será necessário recorrer aos arquivos das montadoras, na medida da disponibilidade destes dados.

Mostra-se apropriada a associação oficial do Programa de Eficiência Energética ao PROCONVE, a fim de que, através dos dados de emissão, possa-se auditar os dados de consumo fornecidos pelos fabricantes e ambos sejam obtidos nos mesmos veículos, no intuito de desestimular a regulagem dos motores para uma ou outra finalidade. Tendo em vista que os ciclos fixados para a medição de emissões no Brasil representam com propriedade o tráfego médio, estes não devem ser alterados, ademais, é relevante que os ciclos de ensaio sigam o mesmo padrão. A escolha de ciclos é tema bastante controvertido, posto que pode beneficiar certas situações (ou até marcas e modelos de veículos), precipuamente no que diz respeito aos elementos que interferem nas emissões. A escolha pode não ser tão crucial quando se trata de medição de consumo, todavia não deve abrir precedentes para ciclos “alternativos”. A idéia de que um ciclo pode ser adequado para consumo e não o ser para emissões não tem fundamento: a

uniformização dos ciclos para que os resultados aferidos se repitam e possam ser comparados entre si é o fator mais relevante. Desta forma, uma vasta gama de informações poderá ser obtida caso se adote o ciclo de condução urbana especificado nas normas NBR-7024 (e NBR-6601 para emissões), posto que as análises comparativas do programa de eficiência energética que se pretende promover e o assentamento de suas metas futuras poderão servir-se de dados dos últimos 20 anos.

Apesar de não existirem exigências específicas acerca das medições de eficiência energética de veículos pesados e fora de estrada, o consumo de combustível é aferido normalmente nos ensaios de emissão de motores, pois faz parte dos cálculos, entretanto não é apresentado como resultado do teste, permanecendo “desconhecido”. Entende-se que o cálculo da média ponderada do consumo específico (determinada em g/kWh pelos mesmos procedimentos de cálculo das emissões) poderá ser adotado como um parâmetro de referência para a “eficiência energética dos motores de veículos pesados no ciclo de emissões” e utilizado para efeito de comparação dos motores e para a transformação dos valores de emissão em g/kWh para g/km dos veículos através da medição do consumo de combustível de cada aplicação em km/l. Atualmente, o parâmetro “consumo específico” é divulgado apenas como uma curva em função da rpm na condição de cargas ou acelerações máximas, o que é menos significativo como parâmetro representativo da eficiência média. É oportuno ressaltar que o cálculo analítico do consumo a partir do balanço de carbono deve considerar as diferenças de composição dos combustíveis brasileiros em razão da presença de álcool, de acordo com as prescrições das normas norte-americanas do Code of Federal Regulations Part 600 Fuel Economy of Motor vehicles (600.113-93 por exemplo) ou equivalentes.

Saliente-se que a norma ABNT NBR 7024 “Medição do Consumo de Combustível de Veículos Rodoviários Automotores Leves”, permite ensaiar ciclos de condução urbana e de estrada, apresenta ampla aceitação e foi recentemente revisada, de acordo com os melhores procedimentos internacionais, podendo esta etapa ser considerada efetivamente implementada.

b) Difusão dos indicadores de eficiência veicular.

Os consumidores devem ter a consciência de que a eficiência é um valor adicional de seu veículo, levando as montadoras a atentarem progressivamente para este aspecto, na medida em que será um fator decisivo na escolha do veículo a ser adquirido. Para tanto, além de serem apresentados aos consumidores os valores de consumo específico constatados nas medições, será imprescindível organizar adequadamente as informações e exprimir o seu real significado, de forma a elucidar como os resultados encontrados afetam o meio ambiente, a economia familiar etc.

Um programa de comunicação e informação aos consumidores e ao mercado pode ser preparado a partir dos resultados de medições de consumo em cidade e em estrada, fornecidos pelos fabricantes e importadores de acordo com a ABNT NBR 7024 para os veículos leves e passíveis de comparação crítica com os dados do PROCONVE disponíveis no IBAMA, bem como dos consumos específicos médios calculados ou medidos nos ensaios de emissão de motores pesados e de aplicações especiais.

Para maior alcance dos objetivos aqui expressos, devem ser explorados todos os meios de comunicação viáveis para a divulgação do assunto, objetivando atingir especialmente, afora os consumidores, os profissionais da imprensa automotiva. Dessa

forma, além de artigos impressos, a Internet deve também ser utilizada, mediante os portais do CONPET, por exemplo, e das demais instituições envolvidas.

c) Definição de limites máximos de consumo específico ou mínimos de eficiência.

A Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, já mencionada anteriormente, também conhecida como “Lei da Eficiência Energética”, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visando à alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Aos fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, a Lei estabeleceu a obrigação de adoção de medidas necessárias ao cumprimento de níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética. Tais limitações serão estabelecidas pelo Poder Executivo com base em indicadores técnicos pertinentes, conforme reza o caput de seu artigo 2o.

Para tanto, o referido diploma legal determina, no caput de seu artigo 5º, que “previamente ao estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, de que trata esta Lei, deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas”.

Deste modo, a Lei de Eficiência Energética vem sendo implantada em bases sólidas, por meio de Portarias e Decretos expedidos pelo Poder Público, que trazem regulamentação específica para cada tipo de equipamento consumidor de energia, acarretando uma série de mudanças estruturais para o setor.

Deve-se atentar, dentro do contexto, para os procedimentos de cálculo das médias e limites (por montadora, por modelo ou por classe) e de penalização das eventuais infrações à legislação, que devem ser detalhadamente definidos. Como uma contribuição para a definição de categorias para a divulgação de valores de consumo específico e no processo de etiquetagem, a tabela 3.9 apresenta uma avaliação dos diferentes critérios que podem ser adotados. Vale ressaltar que a capacidade do motor é normalmente o critério mais utilizado.

Tabela 3.9 - Parâmetros para definição das categorias de veículos

Parâmetro para classificação	simplicidade	disponibilidade de informação	dificuldade de manipulação
preço do veículo	+	+/-	-
peso do veículo	+	+	+/-
potência do motor	+	+	+/-
capacidade do motor	+	+/-	+/-
tamanho do veículo	+/-	+	+
número de assentos	+	+	-

Fonte: NOGUEIRA E BRANCO, 2005

d) Introdução da etiquetagem comparativa e voluntária.

Para a implementação dessa etapa, faz-se necessário o alcance de um consenso quanto à metodologia a ser utilizada na classificação de um determinado modelo entre os demais de sua categoria e, eventualmente, sua colocação em uma escala absoluta de eficiência – tema discutido na fase anterior.

Uma vez estabelecida a metodologia de classificação de veículos, deverão ser difundidos os procedimentos e o significado dos indicadores de consumo específico, para então tornar imperativa a etiquetagem. Além da afixação obrigatória nos pára-

brisas dos veículos, tais etiquetas podem também ser utilizadas como um produto de marketing, sendo transformadas em *banners* a serem espalhados pelos salões de exposição das lojas, publicadas em revistas automobilísticas, em cartazes comparando etiquetas entre montadoras, etc. Ademais, outros fatores afora o energético poderão ser considerados na etiquetagem, tais como ruído, segurança e características de ciclo de vida.

3.3.3 – Considerações finais

Um fator extremamente favorável à implementação de um programa de eficiência energética no Brasil é seu alinhamento com as políticas públicas nacionais, na medida em que o melhor desempenho energético dos veículos tem como consequência natural, além do aumento da produtividade econômica e melhoria das condições ambientais, um ajuste racional das dimensões do mercado de combustíveis e a possibilidade de consolidar a auto-suficiência no abastecimento atuando pela demanda. Em contrapartida, seguindo-se o modelo adotado em países desenvolvidos, como os exemplos citados anteriormente, almeja-se a elaboração de um programa de eficiência veicular. Tais medidas se farão possíveis depois de evidenciados os benefícios econômicos e ambientais decorrentes de um melhor desempenho energético e difundidas as diferenças de eficiência entre os veículos disponibilizados no mercado.

Um ponto de suma importância para este estudo e bastante encorajador é a identificação dos grandes benefícios que um programa sério de eficiência energética pode proporcionar a todos os segmentos da sociedade, mediante custos extremamente reduzidos. Assim temos que o critério da eficiência poderá ser um novo balizador de julgamentos nas licitações realizadas pela Administração Pública, ou em quaisquer

outros processos competitivos de aquisição de veículos. Favorecendo o setor industrial, a difusão de dados de consumo veicular pode levar à concessão de prêmios anuais e selos de alta eficiência energética e baixa emissão de poluentes para os veículos nacionais.

A indústria automobilística nacional será amplamente favorecida pelo avanço da eficiência veicular, que terá como decorrência uma maior aproximação da tecnologia praticada nos países desenvolvidos, representando um adicional e relevante diferencial competitivo para o segmento.

Resta a certeza de que o ambiente é cada vez mais propício à implementação de um programa de eficiência veicular no Brasil. Temos no momento a conveniência, a necessidade e as condições adequadas para tanto. Alcançar o empenho e a colaboração dos agentes envolvidos, quais sejam, órgãos públicos e privados do setor automobilístico, energético, ambiental, entre outros, é um grande desafio nesse processo. Contudo, a vasta experiência nacional em programas de promoção da eficiência energética e de etiquetagem demonstra que esse aspecto, desde que corretamente levado em conta, não constitui um obstáculo, mas um vetor de oportunidades que reforça os propósitos do programa. Efetivamente a valorização e o incremento da eficiência veicular trazem benefícios em vários níveis: ganham os fabricantes, que têm seus produtos diferenciados quanto ao desempenho energético; ganham os consumidores com a economia de energia obtida; e ganha, principalmente, a sociedade brasileira.

4. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EMISSÃO DE CO₂ DOS VEÍCULOS LEVES NO BRASIL

4.1 – A Construção de Cenários

4.1.1 – Objetivo

As emissões de GEEs “... são um produto de sistemas dinâmicos muitos complexos, determinados por forças motrizes tais como desenvolvimento demográfico, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas. Sua evolução futura é altamente incerta. Os cenários são imagens alternativas de como o futuro pode se desdobrar e são uma ferramenta apropriada com as quais se analisa como as forças motrizes podem influenciar as emissões futuras e se avaliam as incertezas associadas. Os cenários contribuem para a análise da mudança climática, incluindo a modelagem climática e a avaliação dos impactos, adaptação e mitigação” (NELLI, 2000, *apud* DUBEUX, 2007).

A elaboração de cenários tem como finalidade o auxílio no processo de planejamento, possibilitando uma racionalização das atividades que resultem em menores emissões de gases de efeito estufa.

Este processo de planejamento consiste em identificar um futuro desejado e estabelecer as ações necessárias para alcançá-lo. O cenário de referência indica qual o nível de emissões alcançado pelo Brasil se nenhuma política específica para regular a eficiência dos veículos leves for criada. Numa segunda etapa, é realizada uma série de análises dos cenários futuros possíveis, que poderiam ser alcançados por intermédio de diferentes estratégias (planos de ação).

A atividade de planejamento é um processo que, partindo da situação presente de um sistema (pontos fortes e pontos fracos) e através de condicionantes presentes e futuros (ameaças, oportunidades) permita a elaboração de uma estratégia (plano de ação) para que o sistema evolua para a situação futura desejada (objetivo). Na figura 4.1 pode-se observar os elementos do processo de planejamento.

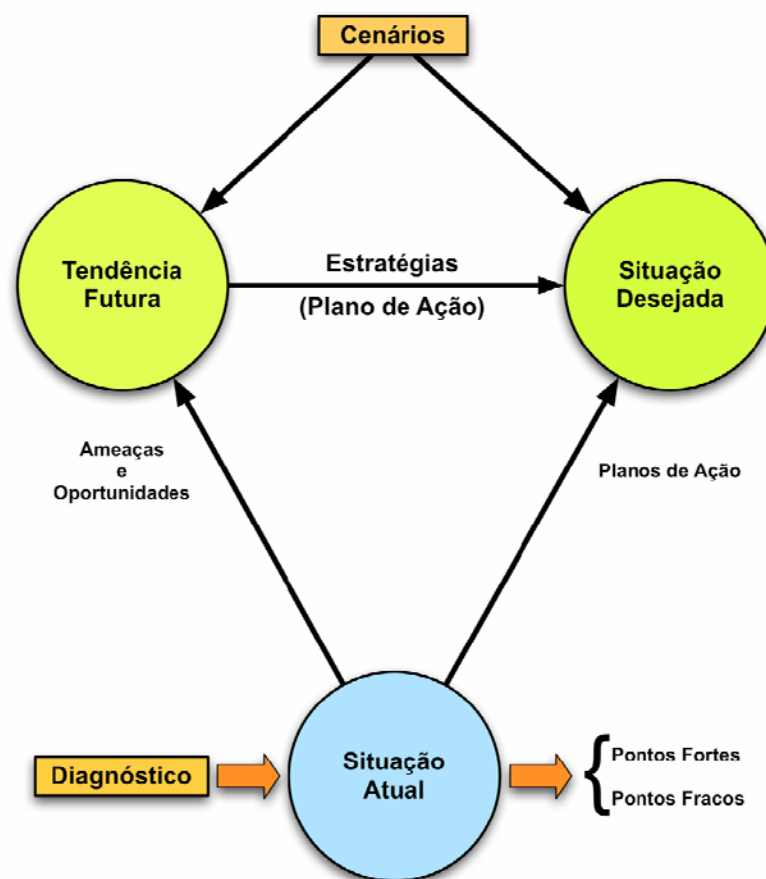


Figura 4.1 – Os Elementos do Processo de Planejamento

Fonte: CENTRO CLIMA, 2006.

Resumindo-se, a atividade de planejamento configura-se como um processo, em que as seguintes etapas estão presentes:

- Diagnóstico da situação presente;
- Análise do meio ambiente futuro (cenários);

- Identificação das situações futuras possíveis (e estabelecimento da situação futura desejada);
- Elaboração da estratégia de ação.

Tais etapas devem ser constantemente reavaliadas em função da evolução das variáveis internas e externas do sistema, no decorrer do tempo, fazendo do planejamento um processo dinâmico e continuamente reavaliado.

A elaboração dos cenários, portanto, é uma fase importante do processo de planejamento. A metodologia adotada para a elaboração do presente trabalho está descrita a seguir.

4.1.2 – Metodologia

A necessidade de utilização de técnicas de planejamento levou ao desenvolvimento de vários métodos que, sem a intenção de proporcionar previsões pontuais, permitem a compreensão do funcionamento do sistema através da análise de suas forças e conflitos. A técnica de cenários faz parte desta categoria de métodos, visto que consiste numa concepção ampla de situações futuras onde estejam envolvidos todos os aspectos interdisciplinares do problema.

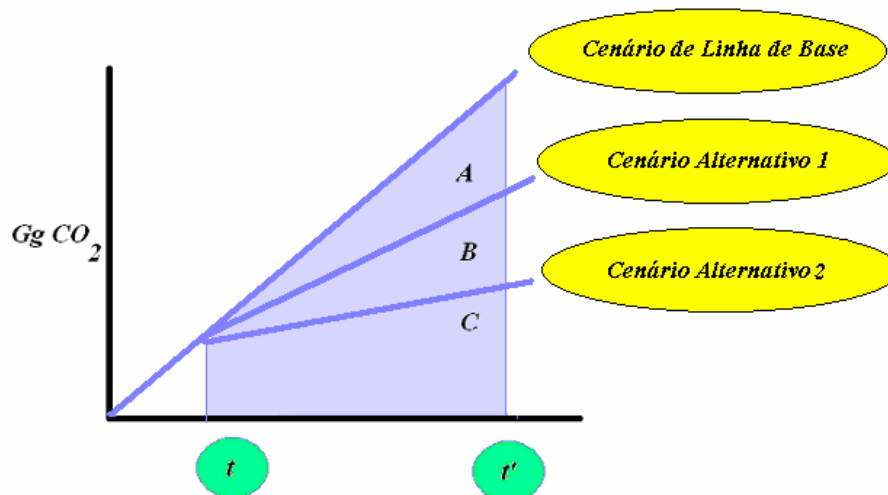
O cenário prospectivo é a configuração de um sistema ou situação que desejamos conhecer. Sua finalidade é a de apresentar de forma clara e coerente, um número de possibilidades para o futuro, sem a pretensão de fazer uma previsão. Deve ser interpretado como simples estimativa do que pode acontecer, a partir de hipóteses das variáveis relevantes para o comportamento de um sistema em estudo. Os cenários devem ser considerados como caminhos possíveis em direção ao futuro e uma forma de

umentar a compreensão das conseqüências de eventos potenciais e políticas de longo prazo, em um determinado nível.

A construção de cenários pode ser feita de várias formas, onde as técnicas utilizadas promovem o pensamento intuitivo, não se restringindo a respostas deduzidas de forma lógica. Procura-se utilizar a opinião de especialistas no tema central do cenário, os quais através de sua experiência e conhecimentos técnicos contribuem para a avaliação do comportamento do sistema em estudo (DUBEUX, 2007).

A construção da base de um cenário prospectivo passa por várias fases, entre elas: a delimitação do sistema estudado, o diagnóstico da situação atual e o exame de sua evolução passada. A partir da construção desta base, inicia-se a parte prospectiva propriamente dita, subdividida nas seguintes fases: a elaboração de um cenário tendencial e de cenários contrastados e a descrição do que pode acontecer nos vários períodos que compõem o horizonte pesquisado.

A figura 4.2, a seguir, representa a quantificação das emissões de GEEs que podem ser estimadas e respectivas reduções que podem ser obtidas com a adoção dos cenários alternativos, quando comparados ao cenário de linha de base.



t = emissões inventariadas no ano t

t' = qualquer tempo futuro

Emissões Totais do Cenário da Linha de Base no tempo t' = $A + B + C$

Emissões Totais do tempo t a t' com o Cenário Alternativo 1 = $B + C$

Emissões Totais do tempo t a t' com o Cenário Alternativo 2 = C

Redução Total de Emissões Alcançadas no Tempo t' com o Cenário Alternativo 1 = A

Redução Total de Emissões Alcançadas no Tempo t' com o Cenário Alternativo 2 = $A + B$

Figura 4.2 - Esquema para Estimativa de Reduções de Emissão Alcançáveis por Diferentes Cenários

Fonte: CENTRO CLIMA, 2006

4.1.3 Determinantes das Emissões do Setor de Transportes

O setor de transportes se apresenta como um dos que tem maior responsabilidade por emissões de GEEs, e, portanto, em tese, oferece as maiores oportunidades para ações de mitigação.

A queima de combustíveis fósseis é termodinamicamente ineficiente, sendo que o motor de um automóvel converte apenas 30% da energia primária dos combustíveis sendo os restantes 70% perdidos em forma de calor (NANOTEC NEWS, 2007, *apud* DUBEUX,

2007). A maior parte da energia é dissipada em forma de calor na água de refrigeração e na exaustão. Como o setor de transportes é um dos maiores consumidores de fontes de energia, é responsável por grande parte das emissões CO₂ para atmosfera.

Fatores importantes para a determinação do nível de consumo do setor de transportes num país pode ser, entre outros: o tamanho do país, sua densidade demográfica, organização espacial, estrutura social e econômica e o nível de absorção das novas tecnologias desenvolvidas mundialmente. O uso de energia, e conseqüente emissão de CO₂, depende principalmente dos seguintes fatores (CENTRO CLIMA, 2006):

- a) **Tipo de Modal** - rodoviário, ferroviário, aeroviário ou hidroviário;
- b) **Distância de Viagens** – conforme o crescimento da cidade, através de planos de urbanização podem ser estabelecidas diretrizes para o uso do solo que resultem em menores distâncias entre as áreas residenciais e as áreas comerciais, significando menor deslocamento nas viagens e, portanto, menor consumo de energia e emissão de GEEs;
- c) **Freqüência de Viagens** – também é um fator importante, pois quanto maior a freqüência de viagens (ou a distância percorrida), maior o consumo de energia e maiores as emissões de GEEs. Existem estudos que indicam que estímulos, por exemplo, ao “teletrabalho” e a “*home offices*” poderiam diminuir a freqüência das viagens, principalmente nos horários de pico, pois as pessoas utilizariam mais as telecomunicações e instrumentos como Internet, realizando o trabalho virtualmente, ao invés de se deslocarem fisicamente para realizá-lo. Assim os motivos de viagem seriam principalmente lazer e compras, fora dos horários de pico;
- d) **Taxa de Motorização** – o aumento da taxa de motorização implica em uma maior circulação de veículos, provocando o congestionamento do tráfego, diminuindo a eficiência no uso da energia e conseqüentemente aumentando as emissões de GEEs. Com uma melhoria e estímulo ao transporte público

coletivo, seja por ônibus ou metrô, por exemplo, resultaria em diminuição no uso de veículos individuais, reduzindo os congestionamentos e melhorando o tráfego na cidade;

- e) **Transporte Coletivo** – está ligado ao item anterior: quanto maior o uso do transporte coletivo em detrimento do veículo individual, melhor o aproveitamento de energia e menor a emissão de GEEs por passageiro por quilômetro percorrido;
- f) **Densidade Residencial e Populacional** – se uma cidade possui sua população esparsa, morando em subúrbios longe do centro empresarial e comercial da cidade, conseqüentemente possuirá maiores consumos energéticos no setor de transportes se comparada a uma cidade com um planejamento urbano tal que encurte essa distância, fazendo com que a energia consumida seja menor. Este item está ligado ao item b – distâncias das viagens;
- g) **Combustível Utilizado** – diferentes tipos de combustíveis também possuem diferentes fatores de emissão de carbono por unidade de energia, bem como eficiências diferenciadas; e
- h) **Características da Frota** – as emissões dependem da frota no que se refere à idade média (a tecnologia dos veículos interfere no volume de emissões de poluentes locais) e à eficiência (consumo x distância) na emissão de todos os poluentes.

4.2 – Caracterização dos Cenários Propostos

Cenário A1 (Linha de Base): Projeta a tendência natural do mercado no que se refere ao tipo de frota, combustíveis, distância percorrida, etc. sob a hipótese de que nenhuma política específica para o aumento da eficiência dos veículos leves será adotada. Entretanto um aumento de eficiência energética da ordem de 0,25% ao ano foi considerado para

representar o progresso técnico autônomo. Os cenários vão até o ano de 2030.

Cenário A2 (Moderado): A presente simulação analisa os efeitos de um caso hipotético onde os veículos brasileiros novos teriam que seguir metas de eficiência mínima. Esse cenário considera como parâmetro as metas japonesas apresentadas no capítulo anterior, que visam aumentar a eficiência dos veículos leves novos em 23,5% até 2015, em relação ao ano de 2004. Este cenário, porém, considera que o Brasil somente atingiria esse percentual de melhoria de eficiência 10 anos depois, ou seja, em 2025. A taxa anual de aumento de eficiência calculada segundo estas hipóteses e utilizada neste cenário, entre 2007 e 2030, foi de 1,12% ao ano.

Cenário A3 (Otimista): A presente simulação utiliza a mesma meta do Cenário A2, considerando, neste caso, que as metas japonesas serão atingidas pelo Brasil sem nenhum atraso, ou seja, em 2015. A taxa anual de aumento de eficiência calculada segundo estas hipóteses e utilizada neste cenário, entre 2007 e 2030, foi de 2,38% ao ano.

No presente trabalho, portanto, são construídos três cenários de emissão: A1, A2 e A3. Por se tratar de um exercício, será considerada na simulação que os Cenários A2 e A3 representariam um esforço do país para aumentar a eficiência média da frota, já a partir de 2007, já que os últimos dados de consumo médio dos novos veículos, disponibilizado pela CETESB no Relatório do Ar são do ano de 2006.

O país escolhido como modelo a ser seguido, na definição das metas propostas nos cenários deste estudo, foi o Japão, devido a alguns fatores:

- Os EUA possuem metas pouco rigorosas, portanto foi deixado de lado;

- A Califórnia possui metas interessantes, porém suas metas são de emissão, e o modelo que foi utilizado para os cenários trabalha com o consumo específico dos veículos;
- A União Européia também apresenta metas interessantes, mas assim como a Califórnia, suas metas são de emissão;

O Japão possui as metas de eficiência energética mais rigorosas em vigor hoje no mundo. A sua escolha, portanto, assim se justifica.

4.3 – Metodologia para Estimativa de Consumo de Combustíveis por Veículos Leves

Essa metodologia adota uma abordagem bottom-up, estimando o volume total de combustíveis consumido por determinada frota de veículos leves, a partir da agregação, à frota existente, de veículos novos; da aplicação de uma taxa de sucateamento à frota; da distância média anual percorrida pelos veículos; e do consumo médio de combustíveis pela frota, por tipo de combustível utilizado.

A fórmula do modelo é a seguinte:

$$C = \sum_i (F_{i,t} \times K_{i,t} \times E_i)$$

Onde,

C é o consumo total de combustível (gasolina, álcool ou GNV) no ano t

i é a parcela da frota fabricada em cada ano (“ano-modelo”);

F é o número de veículos ano-modelo i em circulação no ano t empregando combustível c ;

K é a distância média percorrida em quilômetros pelos veículos ano-modelo i no ano t ;

E é a eficiência média da frota (litros/km)

Parâmetros Utilizados nos Cálculos dos Cenários de Linha de Base e Alternativo

4.3.1 – Frota Base

A frota base do modelo é a frota nacional, discriminada por ano-modelo e combustível a partir de 1957 até 2003. Esta frota serve como base para a projeção da frota nacional até 2030. A partir de hipóteses adicionais de taxas de aumento de vendas de veículos no mercado interno e de curvas de sucateamento que definirão fluxos de entradas e saídas de veículos circulantes na frota a cada ano, tem-se a frota nacional total por combustível nos anos futuros.

4.3.2 – Evolução das Vendas

O cenário sócio-econômico utilizado para fazer as simulações se baseia no cenário B2 descrito em LA ROVERE *et al.* (2006), que considera uma taxa de aumento das vendas de veículos novos seguindo a taxa de crescimento do PIB no período, acrescida de 1%. Assim, a taxa de crescimento das vendas utilizada nestes cenários será de 5% ao ano até 2025. Entre os anos de 2025 e 2030 essa mesma taxa de crescimento será utilizada. Essa escolha foi feita devido ao grande aquecimento do mercado interno de veículos, registrando em 2007 um crescimento nas vendas em torno de 13%.

4.3.3 – Curva de Sucateamento

Aplicou-se às vendas de veículos em cada ano uma curva de sucateamento, que permite estimar anualmente a quantidade de veículos de um dado ano-modelo que sai de circulação. Utilizou-se a função de sucateamento elaborada pelo Serviço de Planejamento da Petrobras¹⁸ e atualizada com base na Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicílios PNAD de 1988, que estabelece o percentual dos veículos sucateados em função da idade, limita a vida máxima do veículo a 40 anos e é uma função com as seguintes características:

$$S(t) = \exp [- \exp (a + b(t))]$$

Onde,

$S(t)$ = fração de veículos sucateada na idade t ,

t = idade do veículo

E os seguintes valores para a e b :

$$a = 1,798$$

$$b = -0,137$$

É importante ressaltar que esta curva de sucateamento foi elaborada a partir de dados da frota nacional como um todo e para o ano de 1988. Devido à falta de estudos mais atualizados referentes especificamente ao sucateamento da frota brasileira, decidiu-se por adotar tal curva, a mais utilizada em estudos dessa natureza no País.

4.3.4 – Distribuição do Consumo por Tipo de Combustível

No que se refere às estimativas de distribuição por combustível, considerou-se mais uma vez as premissas utilizadas nos cenários A2 presentes em LA ROVERE *et al.*

¹⁸ Esta curva de sucateamento é amplamente utilizada em diversos estudos, como por exemplo o estudo sobre as Emissões da Frota Brasileira de Veículos Leves 1990-1994, parte da Comunicação Brasileira para a Convenção do Clima preparada pelo MCT.

(2006). A venda de novos veículos *flex-fuel* alcançaria 93% ao final do período enquanto os carros à gasolina, majoritariamente veículos de luxo ou importados 5%. Nesta dissertação, assim como em LA ROVERE *et al.* (2006), considerou-se que a frota movida a GNV formaria apenas 2% da frota total, e seria composta basicamente por táxis e veículos comerciais leves presentes nos grandes centros urbanos. No que se refere aos combustíveis utilizados, a frota *flex-fuel* utilizaria álcool na proporção de 60% da quilometragem percorrida. Tal participação do álcool nos veículos *flex-fuel* foi também obtida de LA ROVERE *et al.* (2006), considerando um período de entressafra da cana-de-açúcar o que eleva os preços deste combustível, tornando a gasolina atraente. Assim as quantidades de cada combustível foram reajustadas conforme a sistemática apresentada na tabela 4.1, a seguir.

Tabela 4.1 - Estipulação da Participação dos Combustíveis nos Cenários

Período	Gasolina C . (25% de álcool anidro)	Álcool	GNV
Pré-89 a 2007	Participação do combustível na venda de veículos novos no País (dados ANFAVEA, 2006b)		Não há registros de carros a GNV, apenas de conversões. Estimativa de Mendes (2003) a partir de dados de vendas de cilindros
2003 a 2030	Estimativa de LA ROVERE <i>et al.</i> (2006) que se baseia nas perspectivas de cada combustível no cenário brasileiro até 2025. Para os anos entre 2025 e 2030 não foi considerada nenhuma mudança na composição da		

Período	Gasolina C . (25% de álcool anidro)	Álcool	GNV
	frota.		

Fonte: Elaboração própria

Cabe apontar que esta proporção de 60% de álcool e 40% de gasolina C nos veículos flex-fuel é uma hipótese muito importante neste estudo. Caso esta hipótese não se confirme no decorrer do período estudado, a distribuição do consumo de combustíveis, as emissões de CO₂ e os fatores de emissão de CO₂ médios da frota brasileira serão alterados.

4.3.5 – Quilometragem Percorrida

Para estimar a quilometragem percorrida foram utilizados valores de quilometragem anual média da frota de automóveis, estimados pela CETESB para seus inventários, para veículos à gasolina e a álcool. Esses valores são função da idade da frota. Observe-se que a estimativa considera que os veículos mais novos percorrem maiores distâncias por unidade de tempo do que os mais antigos tendo em vista o fato de que veículos mais novos normalmente pertencem aos usuários com um maior poder aquisitivo e que, conseqüentemente, podem arcar com o percurso de maiores distâncias por unidade de tempo que usuários de menor poder aquisitivo. Esses valores são mostrados na tabela 4.2, a seguir.

Tabela 4.2 - Quilometragem Média Anual Utilizada no Modelo

Idade (anos)	Km média anual
Até 1	22000
2	19000
3	17000
4	15000
5	14000
6	14000
7	14000
8	13000
9	13000
10	13000
+11	9500

Fonte: Mendes, 2004

4.3.6 – Percentual de Álcool Anidro Misturado na Gasolina C

A proporção de álcool anidro presente na gasolina C, em todo o período simulado, foi de 25%.

4.3.7 – Eficiência Média dos Veículos Novos

A eficiência média dos veículos novos é o parâmetro mais importante nesse estudo. Através da aplicação das metas propostas para cada cenário no modelo descrito acima, será possível quantificar as emissões de CO₂ em cada caso.

Os valores de consumo específico entre os anos de 2002 e 2006 foram extraídos do Relatório do Ar (CETESB, 2006). O ciclo de testes utilizado pela CETESB para a medição do consumo específico é o FTP 75, exibido na figura 4.3, a seguir.

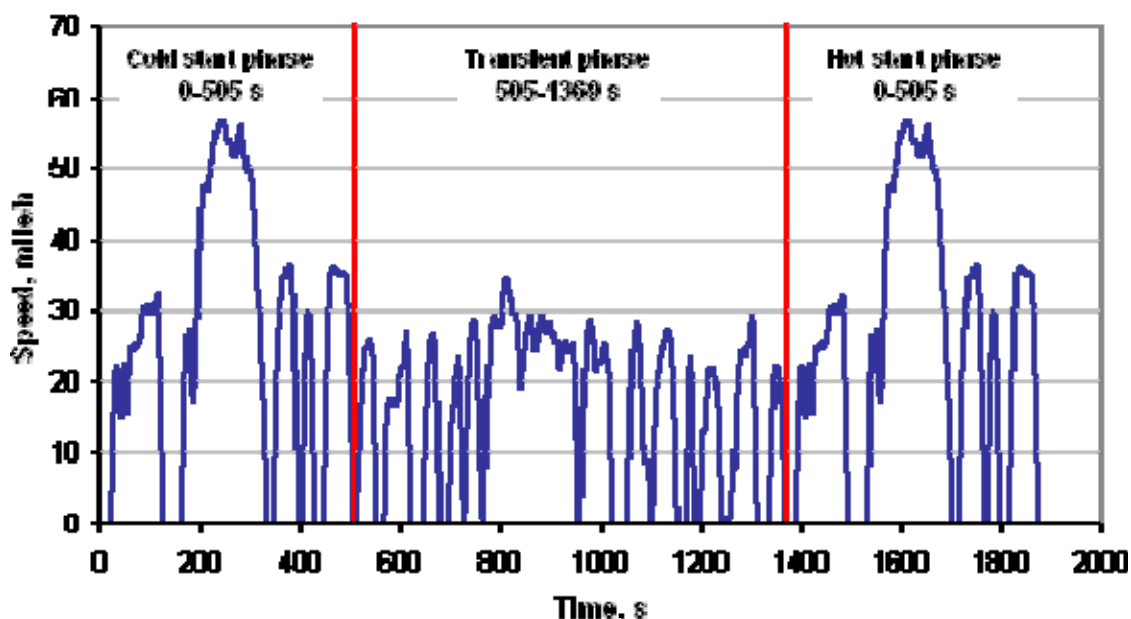


Figura 4.3 – Ciclo de testes FTP 75

Fonte: <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.html> (fev, 2008)

A partir dos valores de consumo médio da frota brasileira em cada ano, encontrados pela CETESB, foram aplicados os aumentos percentuais de eficiência descritos anteriormente entre os anos de 2007 e 2030. É importante frisar que os valores de consumo específico dos carros variam muito conforme o motorista e à manutenção dada ao veículo. Podemos estimar a margem de incerteza desses valores utilizando o parâmetro do selo de eficiência americano, que admite um erro de cerca de 15% para mais ou para menos, tanto na cidade como na estrada.

Na figura 4.4, a seguir, são apresentados os valores de consumo específico dos veículos no Cenário A1 (linha de base).

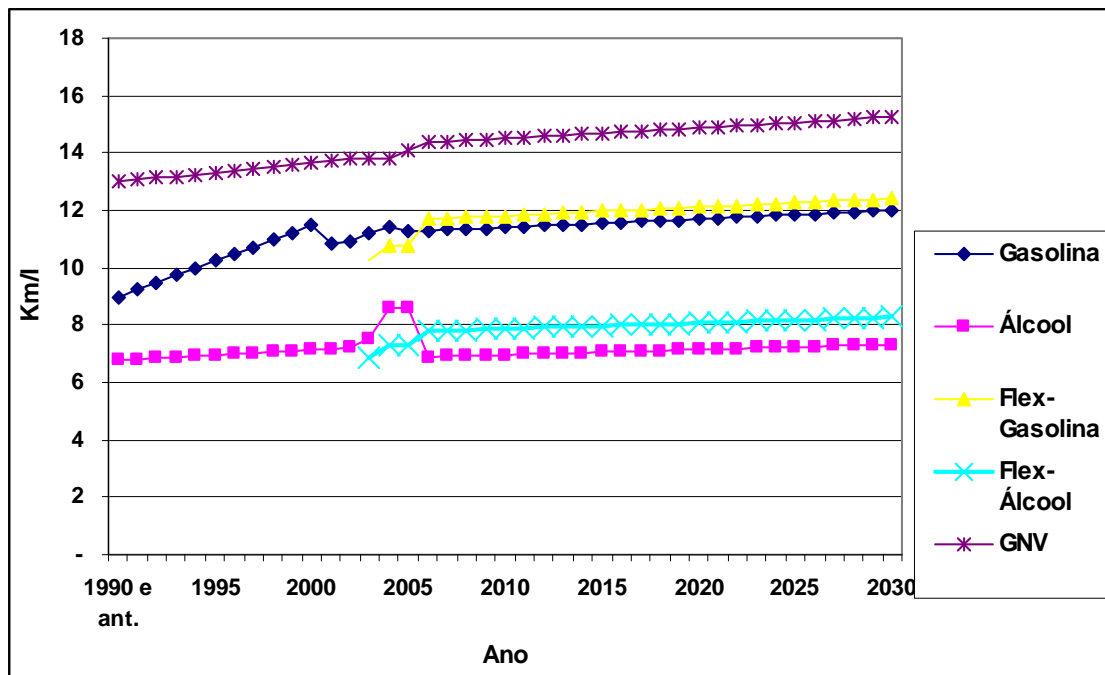


Figura 4.4 – Consumo específico no Cenário A1

Fonte: Elaboração própria

Na figura 4.5, a seguir, estão os valores de consumo dos veículos no Cenário A2. Este cenário considera que as metas japonesas (em aumento percentual) entrarão em prática no Brasil com um atraso de 10 anos, ou seja, em 2025, em uma trajetória linear.

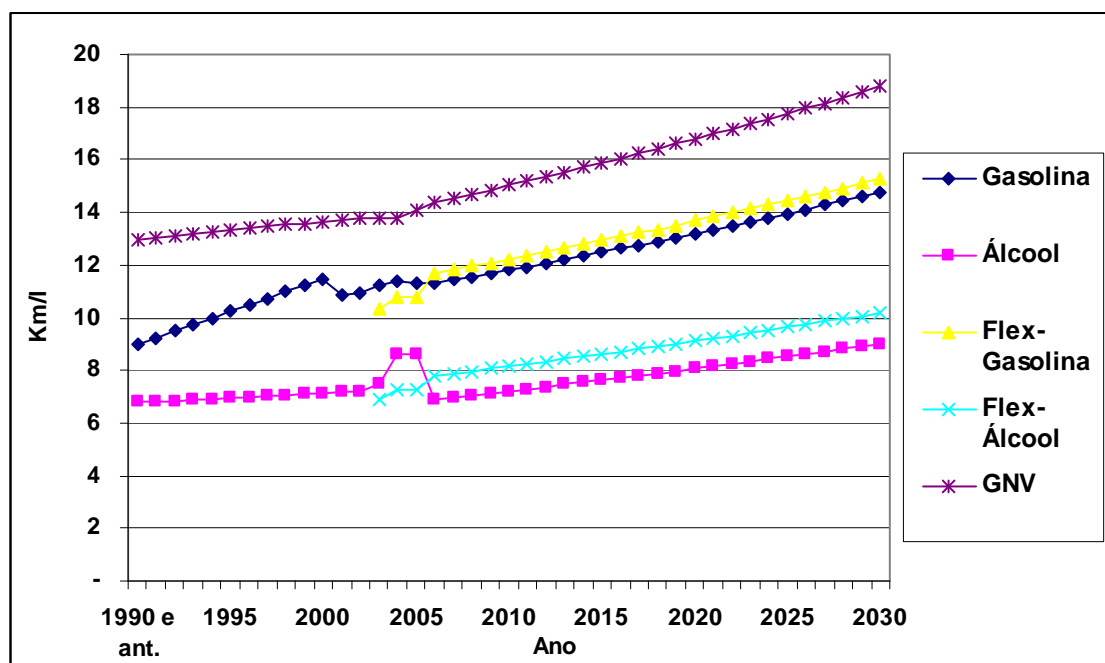


Figura 4.5 – Consumo específico no Cenário A2

Fonte: Elaboração própria

Na figura 4.6, a seguir, estão os valores de consumo dos veículos no Cenário A3. Este cenário considera que as metas japonesas (em aumento percentual) entrarão em prática no Brasil sem nenhum atraso, ou seja, em 2015, em uma trajetória linear.

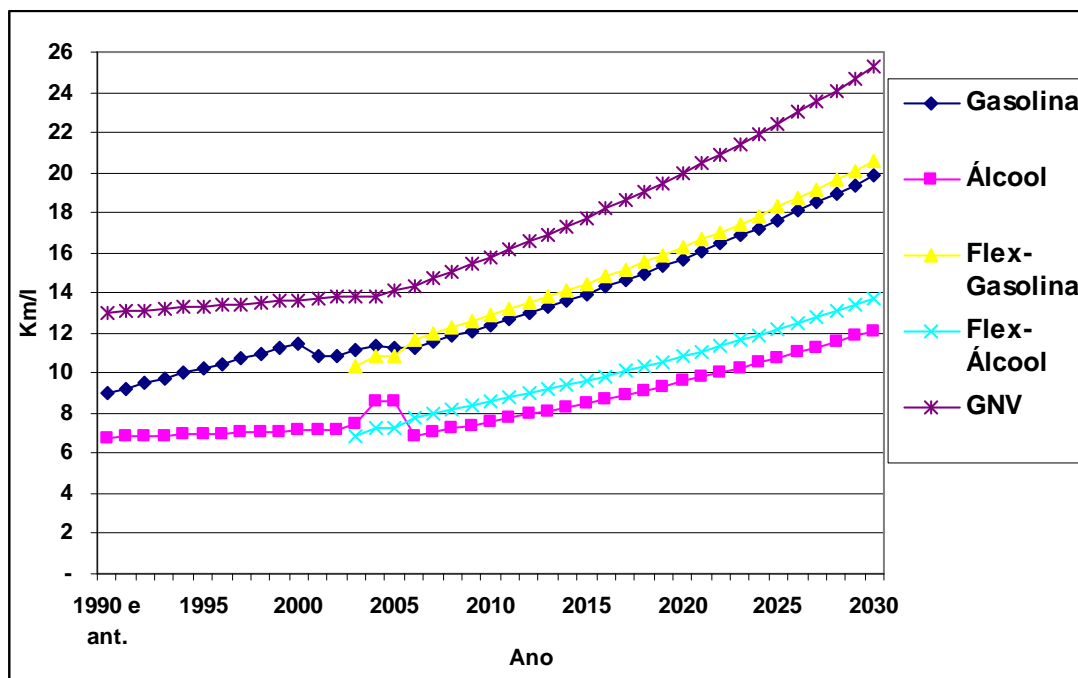


Figura 4.6 – Consumo específico no Cenário A3

Fonte: Elaboração própria

A princípio, pode parecer que os cenários aqui descritos propõem metas muito elevadas de eficiência energética. Cabe lembrar, porém, que os aumentos percentuais de eficiência energética foram extraídos das metas do Japão, país dotado de uma frota de veículos leves já bastante avançada tecnologicamente. No Brasil há um grande espaço para a melhoria da eficiência energética neste segmento, portanto os cenários descritos neste trabalho podem ser considerados conservadores.

Na tabela 4.3, a seguir tem-se um resumo dos principais parâmetros utilizados na simulação.

Tabela 4.3 – Resumo dos parâmetros utilizados no modelo

Alvos		Cenário A1		Cenário A2		Cenário A3	
Ano		2000	2030	2000	2030	2000	2030
Crescimento das vendas		Crescimento de 5% ao ano (igual ao crescimento do PIB + 1%)					
Novas vendas por tipo de combustível	OBS:	Sem carros FF	Quase todos os veículos são FF, táxis são a GNV e somente carros de luxo e importados a gasool	Sem carros FF	Quase todos os veículos são FF, táxis são a GNV e somente carros de luxo e importados a gasool	Sem carros FF	Quase todos os veículos são FF, táxis são a GNV e somente carros de luxo e importados a gasool
	Gasool	98,2%	5%	98,2%	5%	98,2%	5%
	Álcool	0,8%	0%	0,8%	0%	0,8%	0%
	Flex-Fuel (FF)	0%	93%	0%	93%	0%	93%
	GNV	1%	2%	1%	2%	1%	2%
Taxa de sucateamento	Todos os carros	$S(t) = \exp[-\exp(a+b(t))]$; a=1.798; b=-0.137					
Eficiência média dos veículos novos por combustível (km/l ou km/m³ para GNV)		Dados Atuais	Evolução Natural	Dados Atuais	Metas do Japão para 2015 atingidas em 2025 e mantidas até 2030	Dados Atuais	Metas do Japão para 2015 atingidas em 2015 e mantidas até 2030
	Gasool	11,47	12,00	11,47	14,76	11,47	19,85
	Álcool	7,13	7,33	7,13	9,01	7,13	12,12
	Flex-Gas	10,30	12,42	10,30	15,28	10,30	20,56
	Flex-Alc	6,90	8,28	6,90	10,19	6,90	13,70
GNV	13,66	15,26	13,66	18,77	13,66	25,25	

Fonte: Elaboração própria

5. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos pela simulação descrita anteriormente, permitindo embasar algumas considerações sobre a estipulação de metas brasileiras de eficiência veicular no período 2000-2030.

5.1 – Evolução da Frota Brasileira e da Quilometragem Percorrida

A composição da frota segue a metodologia estipulada no Capítulo 4. Considerou-se que os veículos a gasolina iriam diminuir a sua participação nas vendas devido a grande aceitação dos veículos *flex-fuel*. Os veículos movidos a GNV terão uma participação pequena até o final do período simulado. Na tabela 5.1, a seguir, é apresentada a composição percentual da frota de veículos leves no Brasil entre 2000 e 2030.

Tabela 5.1 – Composição percentual da frota brasileira no período 2000-2030

Ano	Gasool	Álcool	Flex-fuel	GNV
2000	81,0%	18,8%	0,0%	0,2%
2001	83,0%	16,7%	0,0%	0,3%
2002	84,5%	15,1%	0,0%	0,4%
2003	85,3%	13,9%	0,3%	0,5%
2004	84,8%	12,4%	2,1%	0,7%
2005	82,0%	10,9%	6,3%	0,8%
2006	76,8%	9,5%	12,7%	0,9%
2007	71,1%	8,3%	19,6%	1,0%
2008	65,0%	7,2%	26,7%	1,2%
2009	59,1%	6,2%	33,4%	1,3%
2010	53,6%	5,3%	39,8%	1,3%
2011	48,3%	4,6%	45,7%	1,4%
2012	43,4%	3,9%	51,2%	1,5%
2013	38,9%	3,3%	56,2%	1,6%
2014	34,7%	2,9%	60,8%	1,6%
2015	30,9%	2,4%	65,0%	1,7%
2016	27,5%	2,1%	68,7%	1,7%

Ano	Gasool	Álcool	<i>Flex-fuel</i>	GNV
2017	24,4%	1,7%	72,1%	1,8%
2018	21,7%	1,5%	75,0%	1,8%
2019	19,3%	1,2%	77,6%	1,8%
2020	17,2%	1,0%	79,9%	1,9%
2021	15,4%	0,9%	81,8%	1,9%
2022	13,8%	0,7%	83,5%	1,9%
2023	12,5%	0,6%	85,0%	1,9%
2024	11,3%	0,5%	86,2%	1,9%
2025	10,3%	0,4%	87,3%	1,9%
2026	9,5%	0,4%	88,2%	2,0%
2027	8,8%	0,3%	89,0%	2,0%
2028	8,2%	0,3%	89,6%	2,0%
2029	7,7%	0,2%	90,2%	2,0%
2030	7,2%	0,2%	90,6%	2,0%

Fonte: Elaboração própria

A figura 5.1, a seguir, mostra os valores absolutos da frota brasileira segundo o tipo de veículo no período simulado.

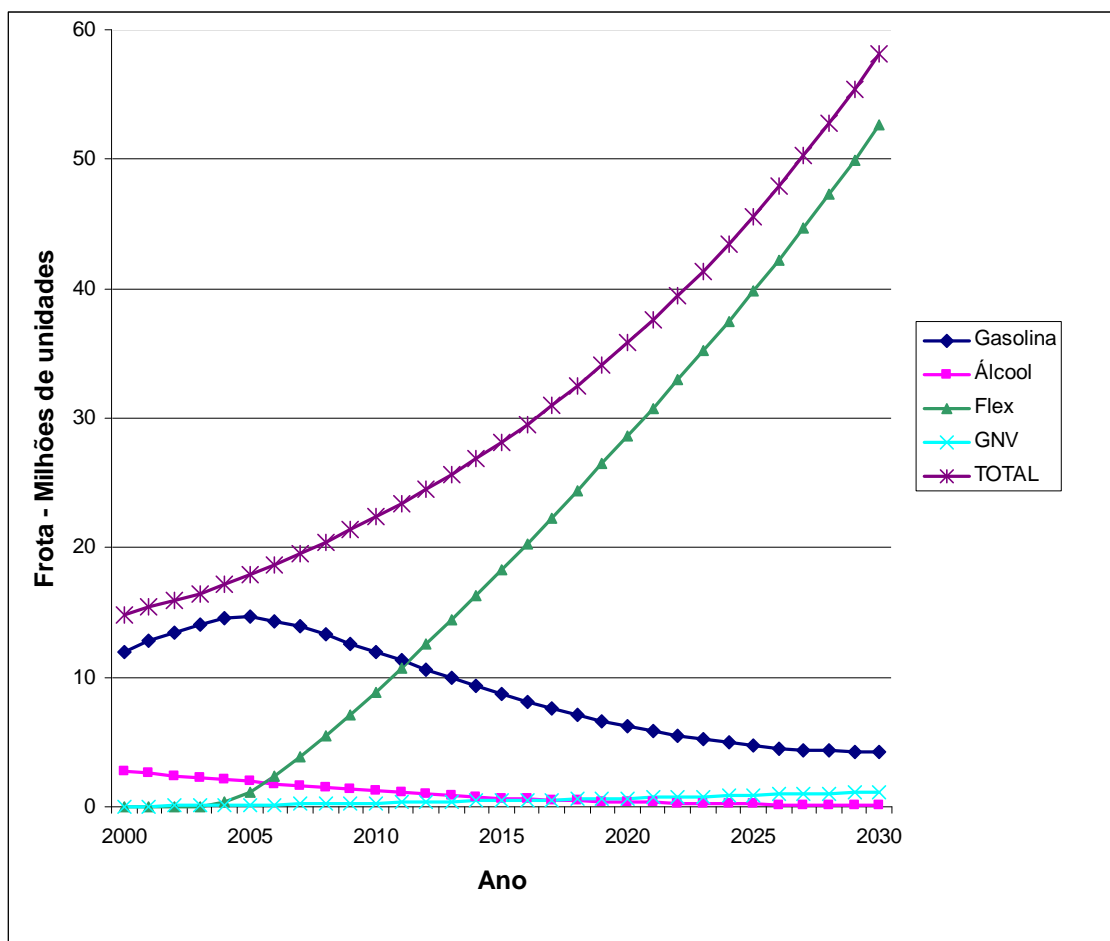


Figura 5.1 – Evolução da frota brasileira

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que a frota aumenta cerca de 4 vezes no período simulado. A taxa de crescimento das vendas considerada foi de 5% ao ano em todo o período como descrito anteriormente. Verifica-se também que os veículos do tipo *flex-fuel* tem a sua participação bastante aumentada, enquanto os outros tipos de veículos tem a sua participação diminuída ou quase estagnada.

Cabe lembrar que o tamanho e a composição da frota são idênticos em todos os cenários simulados. Isto vale também para a quilometragem total percorrida, como podemos verificar na figura 5.2, a seguir:

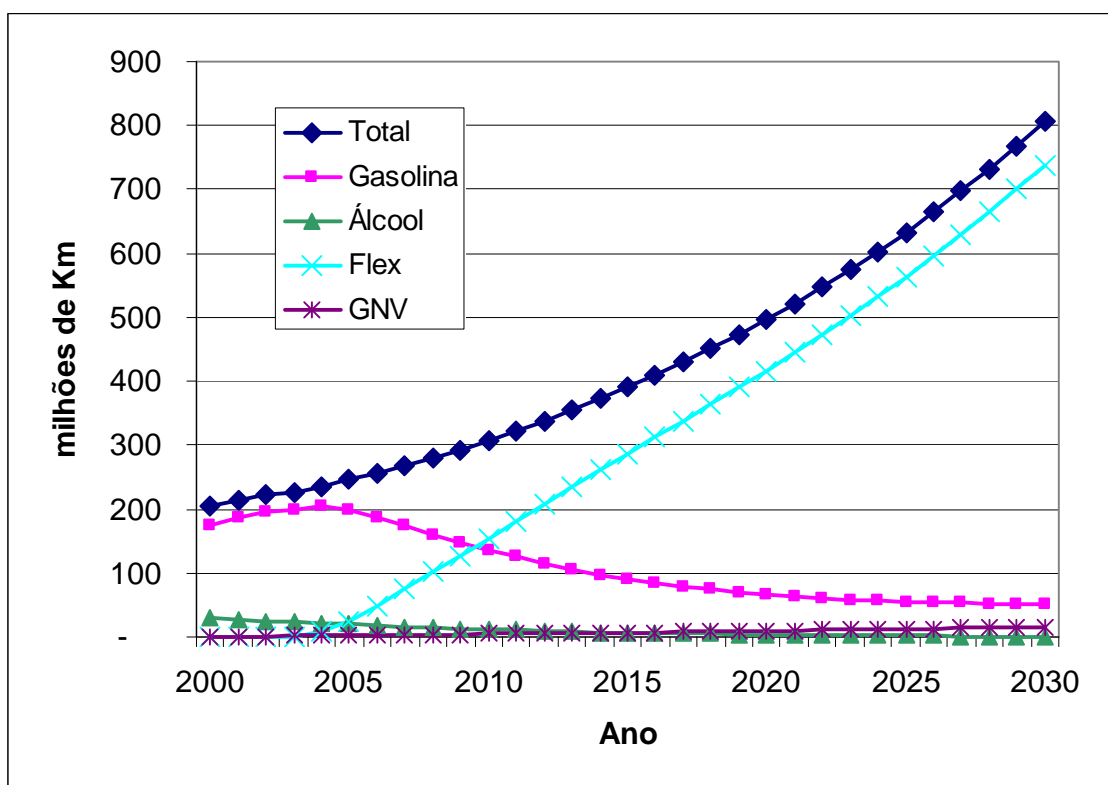


Figura 5.2 – Evolução da quilometragem percorrida

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que a quilometragem percorrida varia de forma muito parecida com a frota total, como era de se esperar. Os veículos *flex-fuel* mais uma vez contribuem da forma mais expressiva ao final do período, e já em torno do ano de 2010 a quilometragem percorrida por este tipo de veículo ultrapassa a quilometragem percorrida pelos veículos exclusivamente a gasolina..

Os demais resultados obtidos em cada cenário, como consumo de combustíveis e emissões de CO₂, serão apresentados separadamente, a seguir, e comparados no item 5.5.

5.2 – Resultados do Cenário A1 (Linha de Base)

A tabela 5.2, a seguir apresenta a evolução do consumo de cada combustível utilizado pela frota descrita anteriormente. Cabe lembrar que um aumento de eficiência da ordem de 0,25% ao ano foi considerado nesse cenário para representar o progresso técnico autônomo do setor.

Tabela 5.2 – Consumo de combustíveis no Cenário A1

Ano	Gasolina (m ³)	AEA(m ³)	AEH(m ³)	GNV (10 ³ m ³)
2000	12.672.293	4.224.098	4.237.771	32.903
2001	13.402.438	4.467.479	3.897.188	57.844
2002	13.919.651	4.639.884	3.654.065	83.596
2003	14.158.570	4.719.523	3.539.779	110.618
2004	14.517.887	4.839.296	3.810.049	143.781
2005	14.561.339	4.853.780	4.850.127	175.418
2006	14.302.080	4.767.360	6.435.737	206.138
2007	13.981.473	4.660.491	8.147.670	236.710
2008	13.697.516	4.565.839	9.990.198	267.295
2009	13.549.075	4.516.358	11.778.518	298.117
2010	13.437.226	4.479.075	13.575.514	328.601
2011	13.323.553	4.441.184	15.400.312	357.807
2012	13.276.816	4.425.605	17.238.012	387.281
2013	13.302.418	4.434.139	19.090.620	417.024
2014	13.342.779	4.447.593	20.944.382	446.449
2015	13.458.471	4.486.157	22.744.437	476.554
2016	13.658.662	4.552.887	24.514.842	507.423
2017	13.911.073	4.637.024	26.302.664	539.010
2018	14.217.179	4.739.060	28.109.395	571.382
2019	14.565.380	4.855.127	29.961.509	604.616
2020	14.957.303	4.985.768	31.860.737	638.799
2021	15.394.233	5.131.411	33.809.736	674.021
2022	15.877.184	5.292.395	35.811.967	710.379
2023	16.406.980	5.468.993	37.871.587	747.973
2024	16.984.318	5.661.439	39.993.329	786.906
2025	17.609.837	5.869.946	42.182.408	827.285
2026	18.284.169	6.094.723	44.444.425	869.219
2027	19.007.983	6.335.994	46.785.304	912.819
2028	19.782.027	6.594.009	49.211.231	958.197
2029	20.607.151	6.869.050	51.728.616	1.005.471
2030	21.484.335	7.161.445	54.344.066	1.054.758

Fonte: Elaboração própria

A seguir, na figura 5.3, são apresentados estes dados de consumo. Os valores de GNV estão em 1000 m³, enquanto que os demais valores estão apresentados em m³.

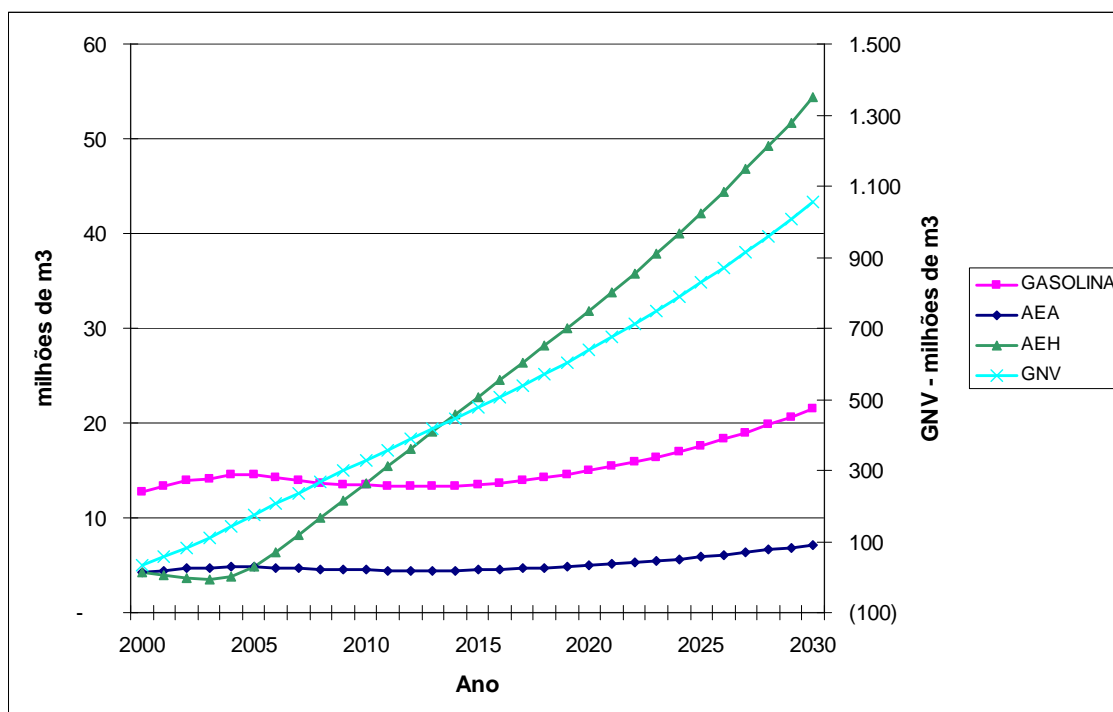


Figura 5.3 – Consumo de combustíveis no Cenário A1

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que o consumo do álcool hidratado ultrapassa o consumo de gasolina em torno do ano de 2010, e continua com um crescimento acelerado até o final do período simulado. Isto ocorre devido ao consumo deste combustível pela frota *flex-fuel*, que cresce aceleradamente no período da simulação. Vale lembrar que em todos os cenários considerados os veículos *flex-fuel* utilizam o álcool hidratado em 60% de seu trajeto, o que foi pautado pela proporção da duração da safra e a entressafra da cana, que influencia fortemente nos preços deste combustível, tornando-o ou não atraente ao consumidor.

Na figura 5.4, a seguir, são apresentados os dados de consumo de energia em TJ. Como o etanol possui um conteúdo energético menor que a gasolina, percebe-se através do gráfico que o aumento da energia consumida a partir do combustível da cana em TJ foi mais suave que o seu aumento expresso em volume.

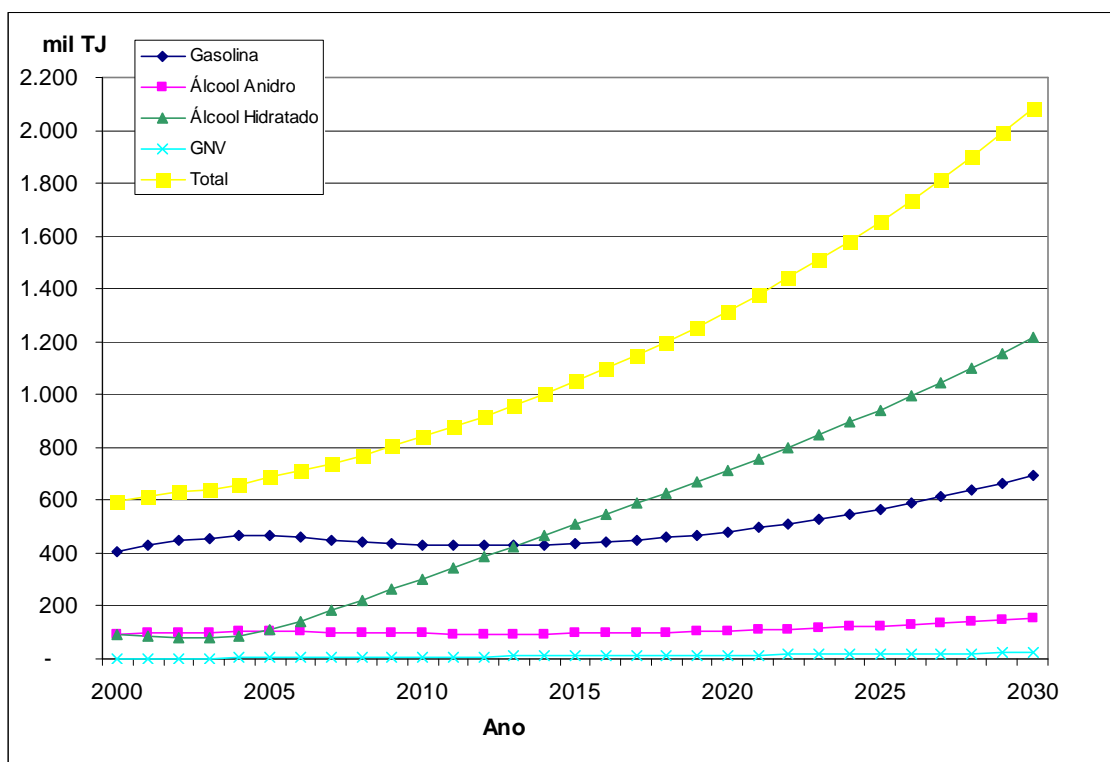


Figura 5.4 – Consumo de energia em TJ no Cenário A1

Fonte: Elaboração própria

O consumo total de energia no período aumentou 3,5 vezes no período considerado. O consumo de Gasolina A aumentou apenas 1,7 vezes, enquanto que o consumo de álcool hidratado aumentou 12,8 vezes.

Na figura 5.5, a seguir, são apresentados os dados de emissão de CO₂ para o Cenário A1. Observa-se que as emissões brasileiras neste cenário devem-se principalmente ao uso de gasolina, representando cerca de 76% das emissões no final do período. Já as emissões provenientes do etanol, que no ano 2000 representavam cerca de 6%,

passaram a representar 22% no ano de 2030, devido ao grande aumento no consumo deste combustível. Cabe lembrar que se a hipótese de uso de álcool hidratado em 60% do trajeto nos veículos do tipo *flex-fuel* não se confirmar, os valores de consumo de combustíveis, emissões e os fatores de emissão da frota serão alterados.

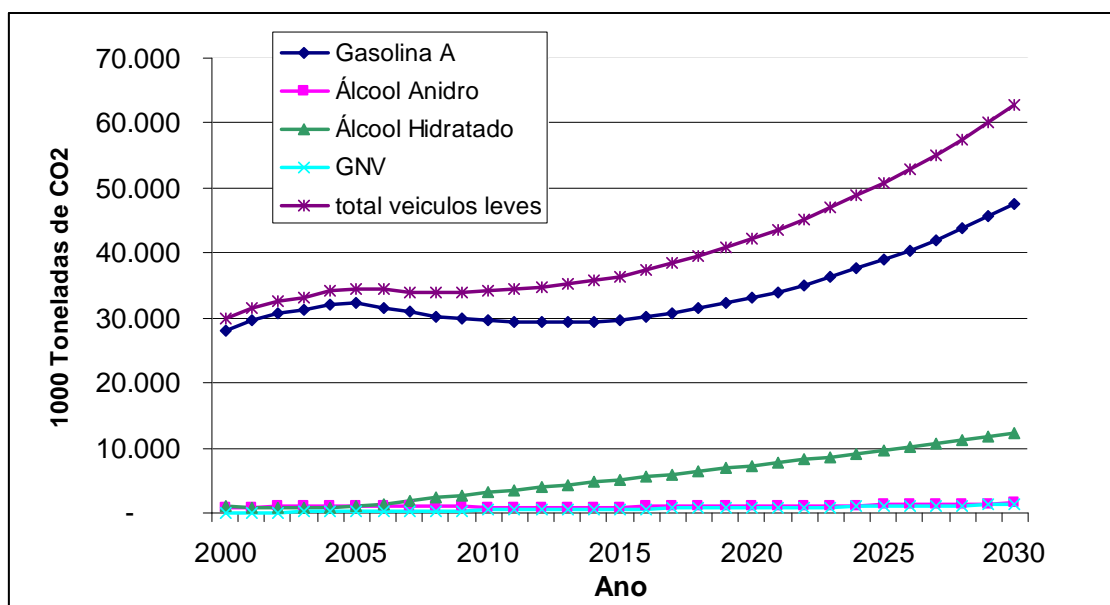


Figura 5.5 – Emissões de CO₂ no Cenário A1

Fonte: Elaboração própria

Neste ponto cabe explicar que apesar do álcool ser um combustível renovável, emissões relacionadas à utilização deste combustível foram consideradas. Para o balanço de CO₂, as emissões devidas ao uso de energia fóssil durante a sua produção, foram de 19,2 kg CO₂ eq./t cana, segundo o Caderno NAE de Biocombustíveis (2005). Com os dados de produtividade extraídos também desta fonte (85,5 litros de etanol por tonelada de cana), foi possível calcularmos o fator de emissão do álcool anidro e do álcool hidratado, que diferem muito pouco, estando entre 9,7 e 10,1 toneladas de CO₂eq./TJ. Ressalta-se que as emissões relativas a outros gases que não o CO₂, produzidos pela queima da palha e pela decomposição de fertilizantes, não foram incluídas neste cálculo, já que estamos dando ênfase às emissões de CO₂, que é o GEE mais importante no setor de transportes.

5.3 – Resultados do Cenário A2 (Moderado)

A tabela 5.3, a seguir apresenta a evolução do consumo de cada combustível utilizado pela frota descrita anteriormente. Cabe lembrar que um aumento de eficiência da ordem de 1,12% ao ano foi considerado, como descrito no capítulo anterior.

Tabela 5.3 – Consumo de combustíveis no Cenário A2

Ano	Gasolina (m ³)	AEA(m ³)	AEH(m ³)	GNV (10 ³ m ³)
2000	12.672.293	4.224.098	4.237.771	32.903
2001	13.402.438	4.467.479	3.897.188	57.844
2002	13.919.651	4.639.884	3.654.065	83.596
2003	14.158.570	4.719.523	3.539.779	110.618
2004	14.517.887	4.839.296	3.810.049	143.781
2005	14.561.339	4.853.780	4.850.127	175.418
2006	14.302.080	4.767.360	6.435.737	206.138
2007	13.971.895	4.657.298	8.126.566	236.271
2008	13.671.195	4.557.065	9.924.438	266.000
2009	13.497.910	4.499.303	11.646.955	295.558
2010	13.353.335	4.451.112	13.357.394	324.378
2011	13.198.853	4.399.618	15.074.526	351.513
2012	13.102.702	4.367.567	16.782.077	378.480
2013	13.069.809	4.356.603	18.480.613	405.257
2014	13.042.465	4.347.488	20.155.870	431.246
2015	13.080.667	4.360.222	21.751.819	457.421
2016	13.193.122	4.397.707	23.291.132	483.841
2017	13.348.208	4.449.403	24.822.108	510.486
2018	13.546.682	4.515.561	26.345.378	537.399
2019	13.776.549	4.592.183	27.885.853	564.632
2020	14.038.904	4.679.635	29.443.861	592.244
2021	14.334.468	4.778.156	31.020.584	620.298
2022	14.663.665	4.887.888	32.617.924	648.859
2023	15.026.689	5.008.896	34.238.383	677.996
2024	15.423.570	5.141.190	35.884.935	707.778
2025	15.854.232	5.284.744	37.560.918	738.277
2026	16.318.548	5.439.516	39.269.934	769.561
2027	16.816.378	5.605.459	41.015.776	801.701
2028	17.347.606	5.782.535	42.802.358	834.767
2029	17.912.165	5.970.722	44.633.669	868.829
2030	18.510.054	6.170.018	46.513.743	903.954

Fonte: Elaboração própria

A seguir, na figura 5.6, são apresentados estes dados de consumo. Os valores de GNV estão em 1000 m³, enquanto que os demais valores estão apresentados em m³.

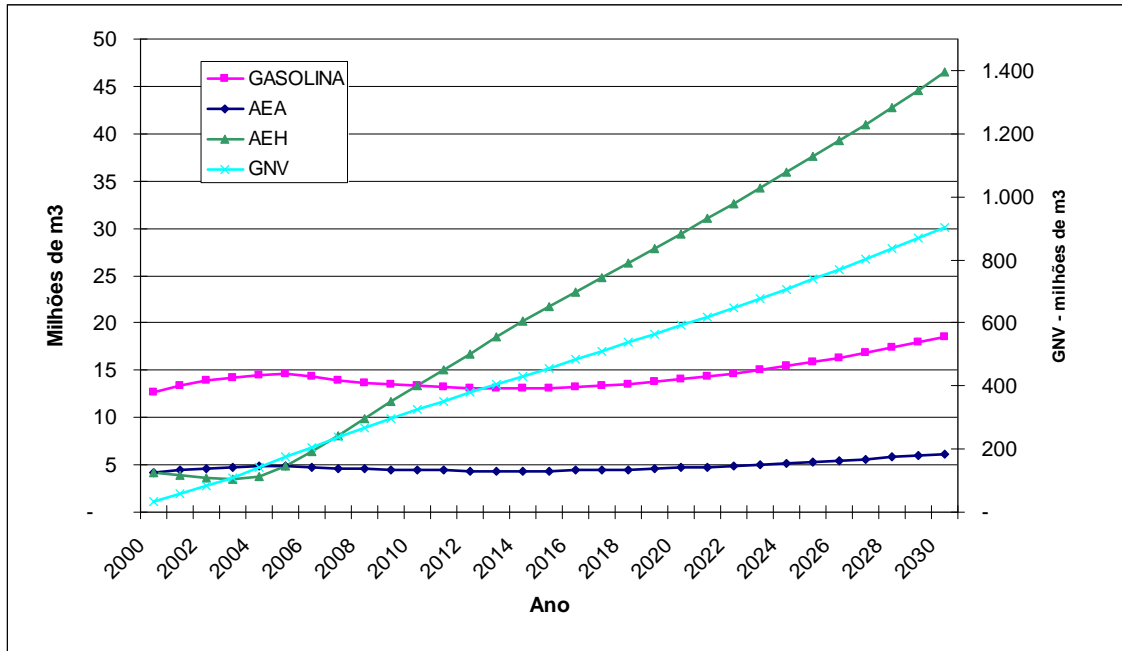


Figura 5.6 – Consumo de combustíveis no Cenário A2

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que o consumo do álcool hidratado ultrapassa o consumo de gasolina, como no Cenário A1, em torno do ano de 2010, e continua com um crescimento acelerado até o final do período simulado. Isto ocorre devido ao consumo deste combustível pela frota *flex-fuel*, que cresce aceleradamente no período da simulação. O crescimento do volume de álcool hidratado consumido no período é de 11 vezes, enquanto que o volume consumido de gasolina cresce 1,5 vezes.

Na figura 5.7, a seguir, são apresentados os dados de consumo de energia em TJ. Em 2012 a energia consumida a partir do etanol (anidro e hidratado somados) passa a representar mais que 50% do consumo energético, proporção que aumenta até o final do

período, chegando a 66% em 2030. O consumo total de energia no período aumentou 3 vezes.

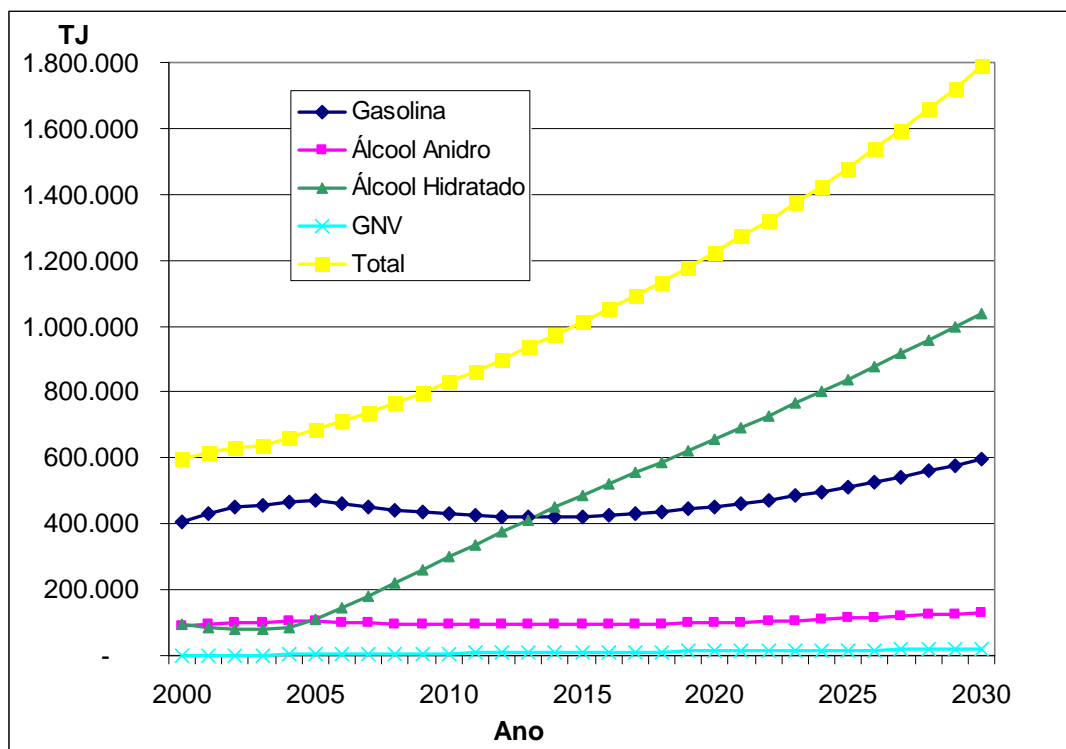


Figura 5.7 – Consumo de energia em TJ no Cenário A2

Fonte: Elaboração própria

Na figura 5.8, a seguir, são apresentados os dados de emissão de CO₂ para o Cenário A2. Observa-se que as emissões brasileiras mais uma vez devem-se principalmente ao uso de gasolina, representando cerca de 77% das emissões no final do período. Já as emissões provenientes do etanol, que no ano 2000 representavam cerca de 6%, passaram a representar 21% no ano de 2030, devido ao grande aumento no consumo deste combustível. As emissões provenientes do GNV são quase desprezíveis quando comparadas com as emissões provenientes dos outros combustíveis, representando 2,1% no final do período.

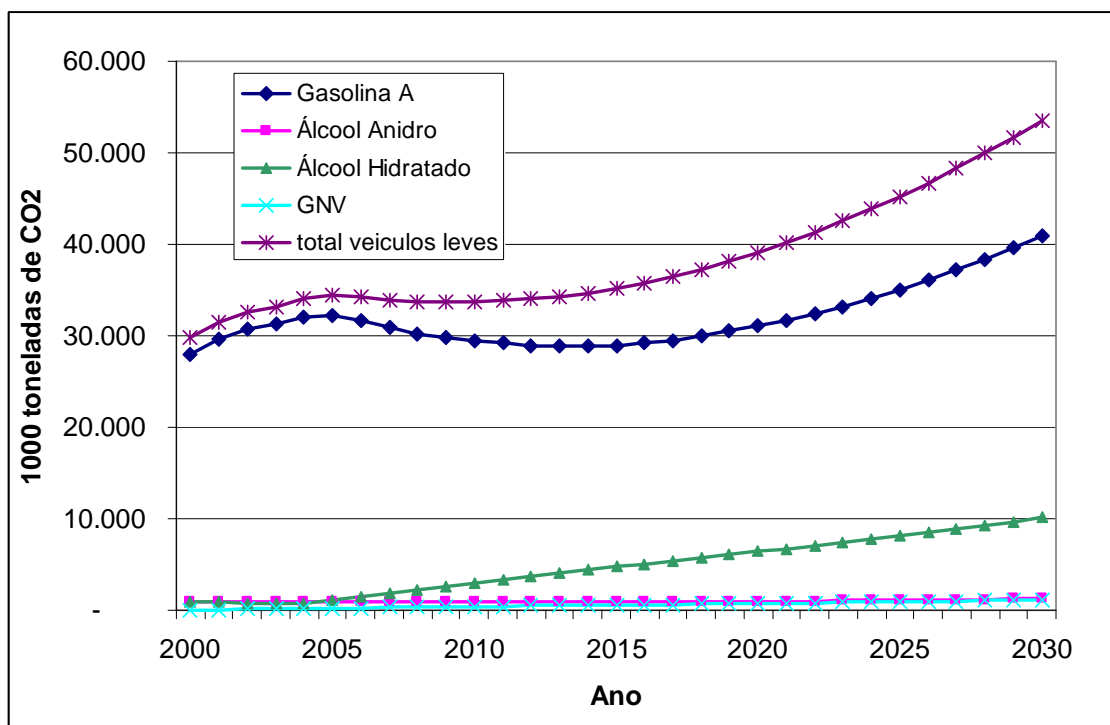


Figura 5.8 – Emissões de CO₂ no Cenário A2

Fonte: Elaboração própria

5.3 – Resultados do Cenário A3 (Otimista)

A tabela 5.4, a seguir apresenta a evolução do consumo de cada combustível utilizado pela frota descrita anteriormente. Cabe lembrar que um aumento de eficiência equivalente a 2,38% ao ano foi considerado, como descrito no capítulo anterior.

Tabela 5.4 – Consumo de combustíveis no Cenário A3

Ano	Gasolina (m ³)	AEA(m ³)	AEH(m ³)	GNV (10 ³ m ³)
2000	12.672.293	4.224.098	4.237.771	32.903
2001	13.402.438	4.467.479	3.897.188	57.844
2002	13.919.651	4.639.884	3.654.065	83.596
2003	14.158.570	4.719.523	3.539.779	110.618
2004	14.517.887	4.839.296	3.810.049	143.781
2005	14.561.339	4.853.780	4.850.127	175.418
2006	14.302.080	4.767.360	6.435.737	206.138

Ano	Gasolina (m ³)	AEA(m ³)	AEH(m ³)	GNV (10 ³ m ³)
2007	13.958.315	4.652.772	8.096.643	235.647
2008	13.634.143	4.544.714	9.831.905	264.178
2009	13.426.428	4.475.476	11.463.216	291.983
2010	13.237.039	4.412.346	13.055.102	318.525
2011	13.027.331	4.342.444	14.626.521	342.856
2012	12.865.084	4.288.361	16.159.980	366.471
2013	12.754.844	4.251.615	17.654.782	389.325
2014	12.639.042	4.213.014	19.096.794	410.825
2015	12.577.196	4.192.399	20.429.210	431.925
2016	12.577.718	4.192.573	21.673.682	452.668
2017	12.610.303	4.203.434	22.881.271	473.092
2018	12.675.063	4.225.021	24.052.376	493.224
2019	12.759.847	4.253.282	25.210.748	513.100
2020	12.865.420	4.288.473	26.355.855	532.761
2021	12.992.164	4.330.721	27.487.982	552.253
2022	13.140.147	4.380.049	28.608.096	571.625
2023	13.309.185	4.436.395	29.717.708	590.924
2024	13.498.907	4.499.636	30.818.736	610.202
2025	13.708.808	4.569.603	31.913.392	629.505
2026	13.938.302	4.646.101	33.004.072	648.882
2027	14.186.762	4.728.921	34.093.276	668.377
2028	14.453.545	4.817.848	35.183.542	688.034
2029	14.738.026	4.912.675	36.277.387	707.893
2030	15.039.611	5.013.204	37.377.279	727.994

Fonte: Elaboração própria

A seguir, na figura 5.9, são apresentados estes dados de consumo. Observa-se um aumento no volume consumido de gasolina de 1,2% no decorrer do período, enquanto que o álcool hidratado aumenta o seu volume consumido em 8,8 vezes até 2030. Os dados de GNV estão em 1000 m³, enquanto que os dados dos outros combustíveis estão expressos em m³.

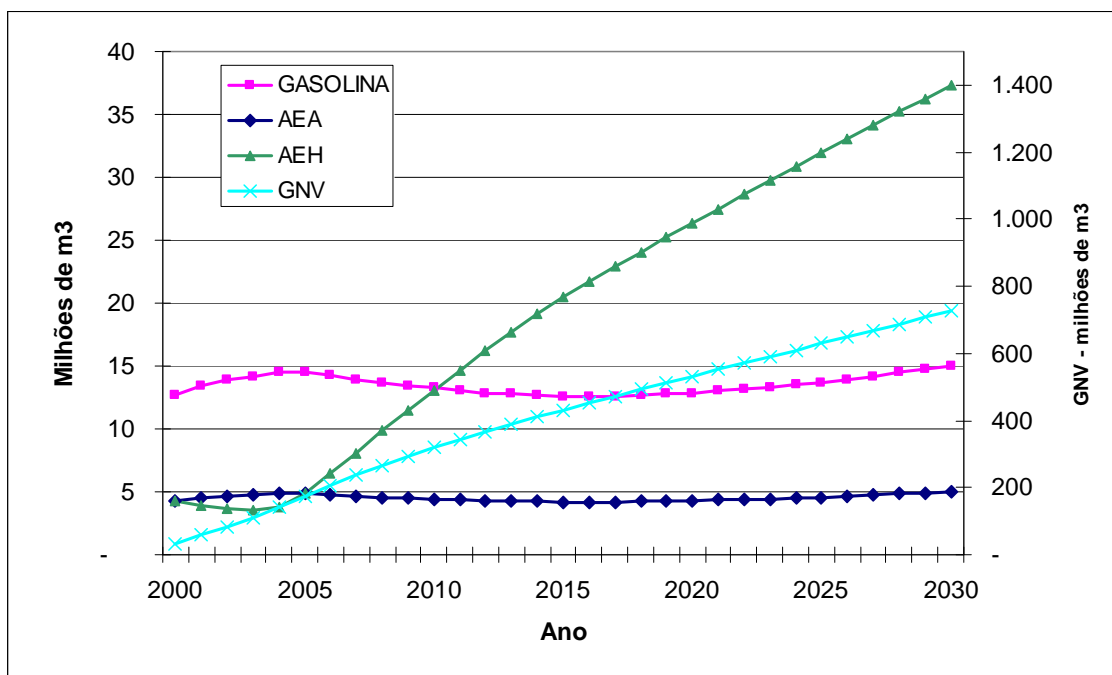


Figura 5.9 – Consumo de combustíveis no Cenário A3

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que o consumo do álcool hidratado ultrapassa o consumo de gasolina em torno do ano de 2010, e continua com um crescimento acelerado até o final do período simulado, como em todos os cenários anteriores. Isto ocorre porque a composição da frota é a mesma em todos os cenários.

Na figura 5.10, a seguir, são apresentados os dados de consumo de energia em TJ. O consumo total de energia no período cresceu 2,4 vezes. A energia obtida a partir dos combustíveis renováveis (álcool anidro e hidratado) ultrapassou 50% do total no ano de 2012, chegando esta proporção a 65,3% em 2030.

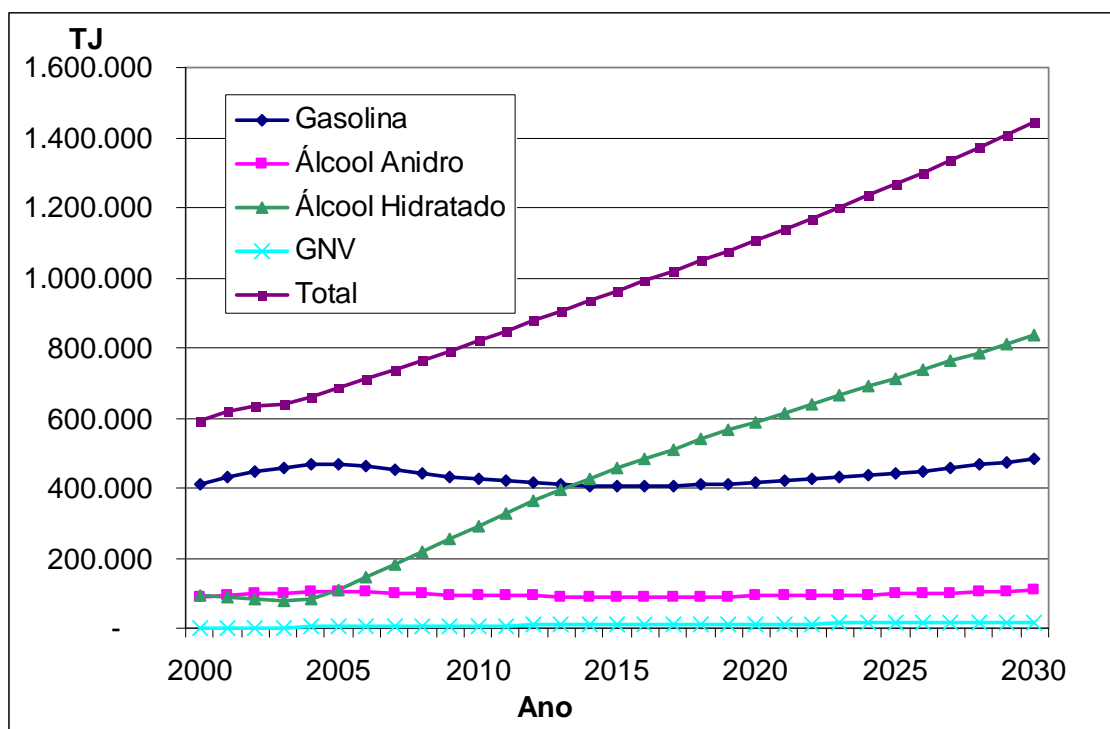


Figura 5.10 – Consumo de energia em TJ no Cenário A3

Fonte: Elaboração própria

Na figura 5.11, a seguir, são apresentados os dados de emissão de CO₂ para o Cenário A3. Observa-se que as emissões brasileiras neste cenário, como nos anteriores, devem-se principalmente ao uso de gasolina, representando cerca de 77% das emissões no final do período. Já as emissões provenientes do etanol (anidro e hidratado), que no ano 2000 representavam cerca de 6%, passaram a representar 21% no ano de 2030, devido ao grande aumento no consumo deste combustível. As emissões provenientes do consumo de GNV representam cerca de 2% no final do período.

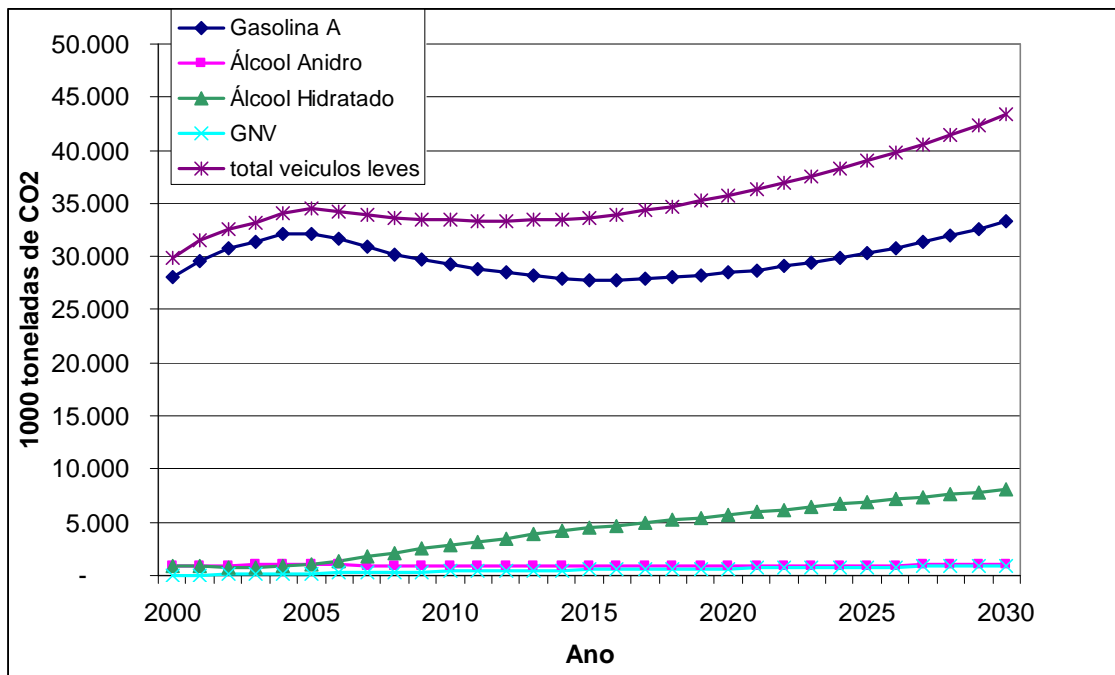


Figura 5.11 – Emissões de CO₂ no Cenário A3

Fonte: Elaboração própria

5.4 – Comparação dos Cenários A1, A2 e A3

Neste item serão comparados os resultados descritos nos cenários anteriores. Como dito anteriormente, a frota e a quilometragem total percorrida é a mesma para todos os cenários, dispensando comparações.

Na figura 5.12, a seguir, é comparado o consumo total de energia nos cenários A1, A2 e A3. Como já era esperado, pode-se observar que as metas de eficiência propostas para os cenários A2 e A3 provocaram resultados consistentes. Até o ano de 2006 os cenários são absolutamente iguais. A partir de 2007, com a diferenciação das metas nos cenários, começa-se a observar diferenças no consumo energético.

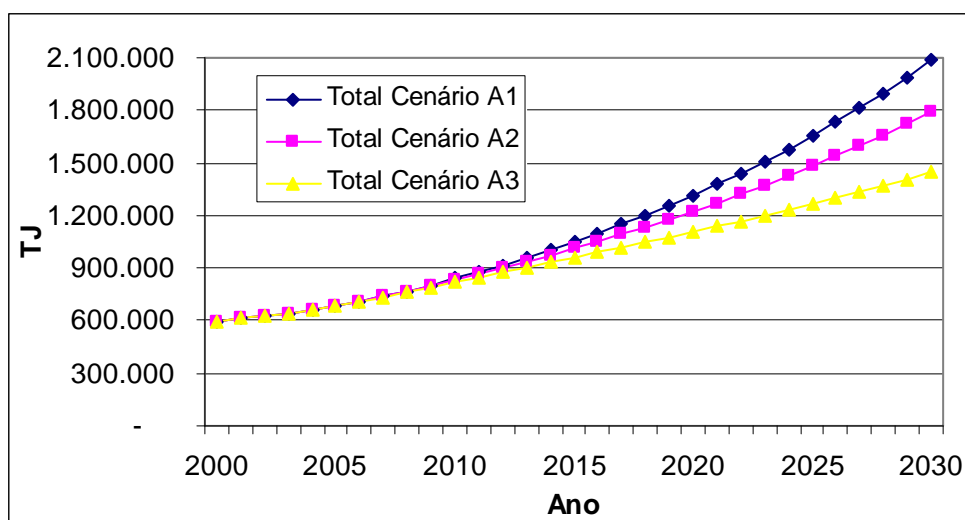


Figura 5.12 – Consumo de energia nos cenários A1, A2 e A3 (TJ)

Fonte: Elaboração própria

O Cenário A2, o moderado, conseguiu reduzir significativamente o seu consumo de energia no final do período, em 14,2%, em relação ao Cenário A1. Já o Cenário A3 conseguiu, através de metas mais restritivas, uma redução no consumo de energia de 30,7% em 2030, em relação ao Cenário A1. Comparando-se os cenários A2 e A3, observa-se que o Cenário A3 consumiu 19,3% a menos que o Cenário A2 em 2030, como pode ser observado na tabela 5.5, a seguir.

Tabela 5.5 – Comparação entre os consumos energéticos nos cenários A1, A2 e A3

Ano	Cenário A1(TJ)	Cenário A2 (TJ)	Cenário A3 (TJ)	Redução A2/A1	Redução A3/A1	Redução A3/A2
2.000	594.211	594.211	594.211	0,0%	0,0%	0,0%
2.005	685.434	685.434	685.434	0,0%	0,0%	0,0%
2.010	839.696	831.423	819.957	1,0%	2,4%	1,4%
2.015	1.048.834	1.011.345	961.390	3,6%	8,3%	4,9%
2.020	1.315.267	1.224.047	1.107.493	6,9%	15,8%	9,5%
2.025	1.654.641	1.480.233	1.267.101	10,5%	23,4%	14,4%
2.030	2.084.116	1.788.622	1.443.837	14,2%	30,7%	19,3%

Fonte: Elaboração própria

Na figura 5.13 a seguir as emissões dos cenários descritos anteriormente são comparadas.

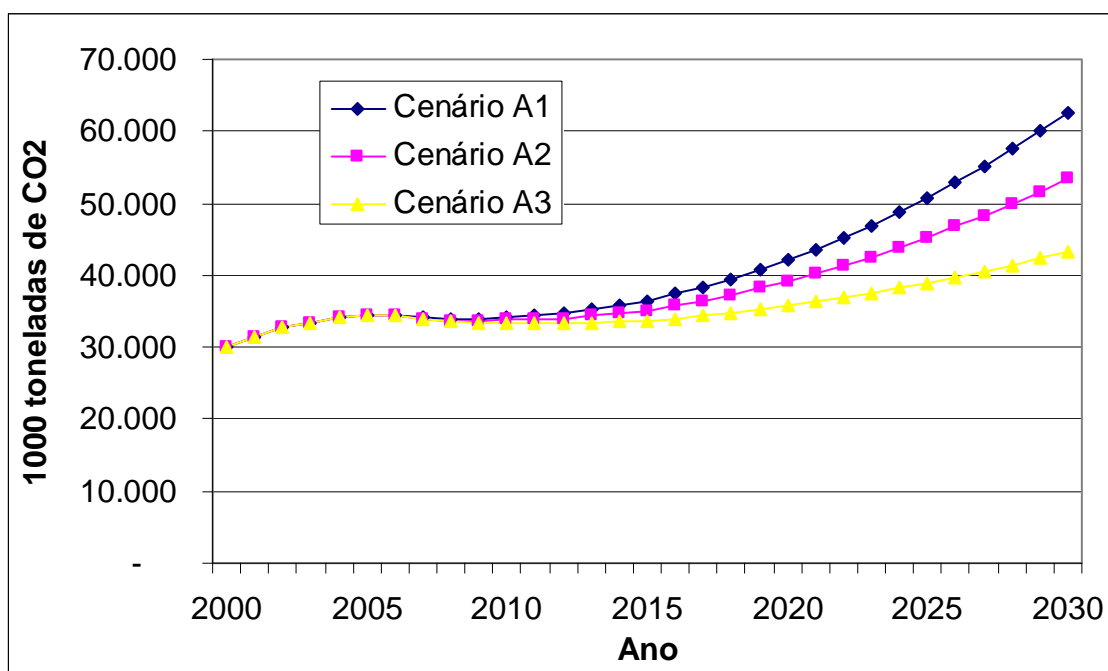


Figura 5.13 – Comparação das emissões de CO₂ dos cenários A1, A2 e A3

Fonte: Elaboração própria

Mais uma vez pode-se observar que os valores das emissões são idênticos em todos os cenários até o ano de 2006. A partir de 2007 esses valores começam a apresentar diferenças, que se tornam bastante significativas no final do período.

Na tabela 5.6, a seguir, esses valores são apresentados e as reduções referentes a cada cenário são calculadas.

Tabela 5.6 – Comparação das emissões nos cenários A1, A2 e A3

Ano	Cenário A1 (10 ³ t CO ₂)	Cenário A2 (10 ³ t CO ₂)	Cenário A3 (10 ³ t CO ₂)	Redução A2/A1	Redução A3/A1	Redução A3/A2
2000	29.910	29.910	29.910	0,0%	0,0%	0,0%
2005	34.536	34.536	34.536	0,0%	0,0%	0,0%
2010	34.149	33.765	33.427	1,1%	2,1%	1,0%
2015	36.468	35.133	33.666	3,7%	7,7%	4,2%
2020	42.164	39.158	35.736	7,1%	15,2%	8,7%
2025	50.798	45.245	38.988	10,9%	23,2%	13,8%
2030	62.687	53.454	43.334	14,7%	30,9%	18,9%

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar na tabela 5.6, acima, que a redução nos níveis de emissão foi bastante significativa mesmo no cenário moderado, representando 15% em 2030. No cenário mais otimista, o A3, tivemos uma redução de emissões de 30,9% em relação ao cenário de linha de base, e de 18,9% em relação ao cenário moderado.

A seguir, na tabela 5.7, são apresentados os valores acumulados de emissões evitadas no período em relação ao cenário de linha de base, o Cenário A1.

Tabela 5.7 – Emissões evitadas acumuladas em relação ao cenário A1

Ano	Cenário A2 (1000 t de CO ₂)	Cenário A3 (1000 t de CO ₂)
2010	943	1.633
2.015	5.448	10.892
2.020	16.827	35.144
2.025	39.103	82.654
2.030	77.393	163.370

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 5.14, a seguir, são apresentados os dados da tabela anterior em um gráfico de barras, para uma melhor visualização dos resultados obtidos com a implantação das metas de eficiência veicular nos cenários.

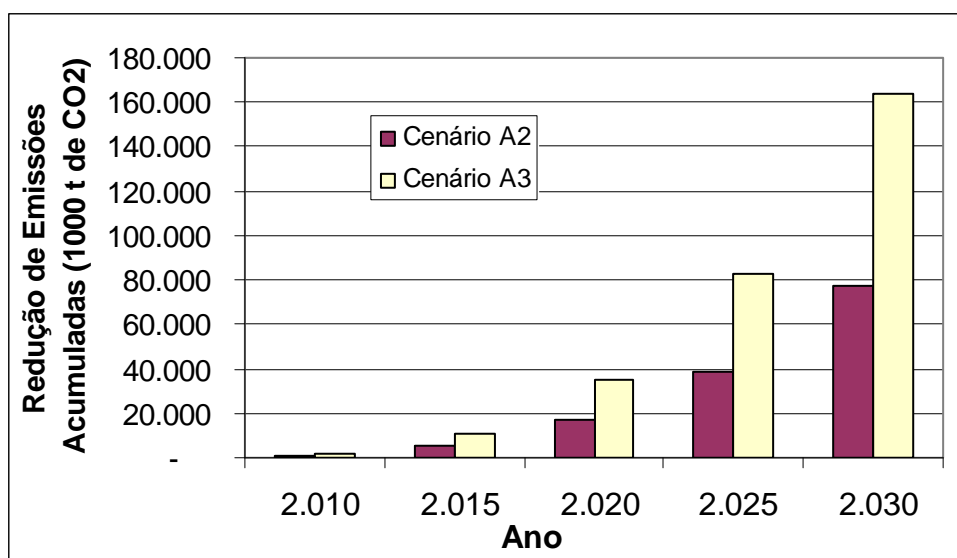


Figura 5.14 – Emissões evitadas acumuladas em relação ao Cenário A1

Fonte: Elaboração própria

Como foi observado neste item, o programa brasileiro de eficiência veicular poderia reduzir bastante as emissões no setor de transportes caso sejam adotadas metas de eficiência. Mesmo para o Cenário A2, o moderado, a redução das emissões foi bem grande, chegando a quase 15% no ano de 2030. Em valores absolutos, as emissões totais de CO₂ no período para o Cenário A1 seriam de 1.264.886 mil toneladas de CO₂. Para o Cenário A2, esse valor chegaria a 1.187.493, o que representaria uma redução no período de 6,1%. Já para o Cenário A3, as emissões totais no período seriam de 1.101.516, o que representa uma redução total de 12,9% .

A figura 5.15, a seguir apresenta os fatores de emissão médios da frota circulando em cada ano, em gCO₂/km no Brasil. Os valores aproximados dos fatores de emissão do Japão e da União Européia também foram plotados para facilitar a comparação. Como era de se esperar, o Cenário A3 é o que possui o menor fator de emissão médio da frota, enquanto que o Cenário A1 possui o maior fator de emissão, a partir de 2007, quando as metas de eficiência diferenciadas começam a ser postas em prática.

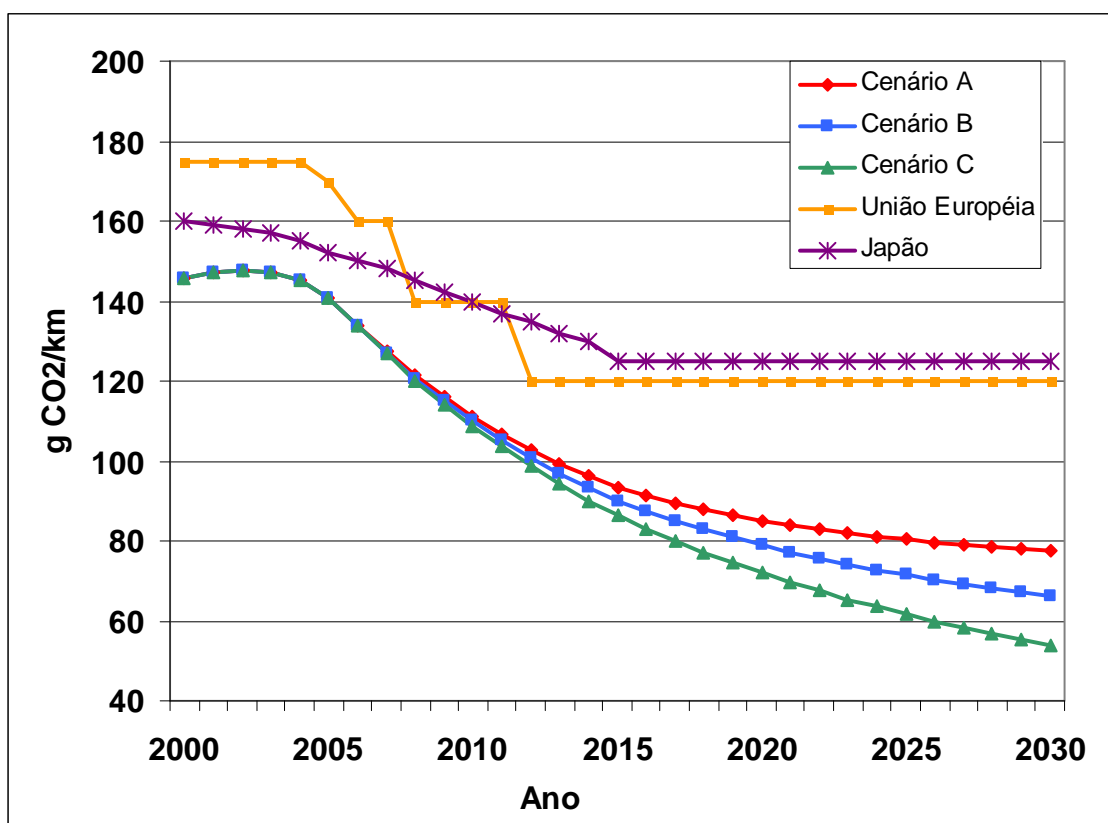


Figura 5.15 – Fatores de emissão médios da frota

Fonte: Elaboração própria

A tabela 5.8, a seguir, destaca estes fatores de emissão a cada 5 anos. Comparando-se estes valores com as metas de diversos países apresentadas neste trabalho (Capítulo 3, figura 3.25, página 79), observa-se que o Brasil se encontra em posição extremamente favorável. Até mesmo no Cenário A1, sem metas de eficiência, os fatores de emissão da frota brasileira são menores que as metas de emissão veicular de qualquer país analisado. Isto não ocorre devido a uma grande eficiência da frota brasileira, mas devido ao uso crescente do etanol como combustível (que possui baixo conteúdo de carbono). Deste modo, a frota circulante do Brasil é provavelmente a frota com menor fator de emissão de CO₂ em todo o mundo, e deverá permanecer nesta posição por vários anos.

Tabela 5.8 – Fatores de emissão da frota circulante brasileira

Ano	Cenário A1 (g CO ² /km)	Cenário A2 (g CO ² /km)	Cenário A3 (g CO ² /km)
2000	145,89	145,89	145,89
2005	140,77	140,77	140,77
2010	111,16	109,91	108,81
2015	93,47	90,05	86,29
2020	84,96	78,91	72,01
2025	80,31	71,53	61,64
2030	77,69	66,24	53,70

Fonte: Elaboração própria

5.5 – Análise de Sensibilidade

O Brasil vive um momento de grande otimismo em sua economia. As vendas de veículos novos têm quebrado recordes seguidamente. No ano de 2007, o aumento das vendas em relação ao ano anterior foi superior a 13%. Isto se deve à melhor distribuição de renda da população brasileira e a maior facilidade de crédito hoje no país. Estes dois fatores foram decisivos na escolha do cenário B2 de LA ROVERE *et al.* (2006), onde a vendas de veículos novos segue um ritmo mais intenso. Nos Cenários A1, A2 e A3, foi considerado um aumento anual das vendas de 5%.

Neste item, serão considerados cenários menos otimistas quanto à taxa de aumento das vendas de veículos novos. Este novo grupo de cenários serão balizados pelo cenário A2 de LA ROVERE *et al.* (2006), e o crescimento anual das vendas será um pouco menor, de 4% ao ano, seguindo exatamente a taxa de crescimento do PIB utilizada no estudo do LA ROVERE *et al.*(2006). Todas as outras variáveis do modelo permanecerão inalteradas nestes novos cenários, chamados aqui de B1, B2 e B3.

Na figura 5.16, a seguir, é apresentada uma comparação entre a frota deste item com a do item anterior. A sua composição permanece praticamente inalterada.

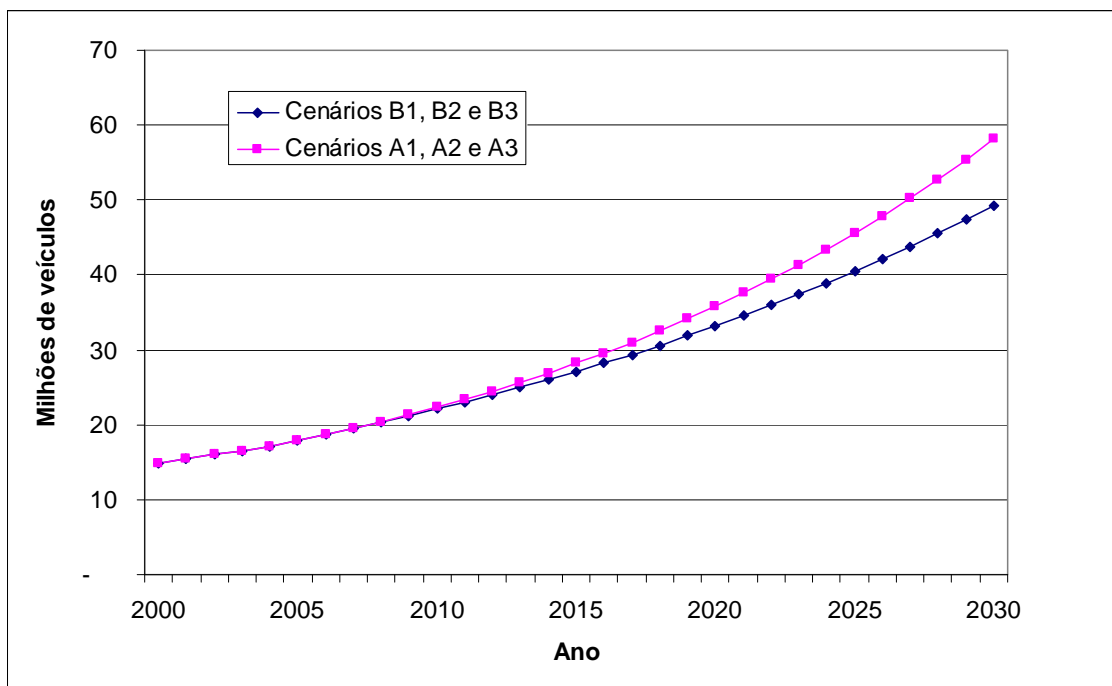


Figura 5.16 – Comparação entre as frotas nos dois grupos de cenários

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que a frota nos novos cenários aumenta num ritmo menos intenso, chegando em 2030 com um número de veículos próximo a 50 milhões de unidades, enquanto que nos cenários do item anterior, esse valor chegava a 58 milhões de unidades. Dessa forma a frota deste item é 15,2% menor no final do período considerado.

A figura 5.17 a seguir compara a quilometragem anual percorrida por cada frota. A diminuição da quilometragem percorrida nestes novos cenários chega a 16,5% no ano de 2030.

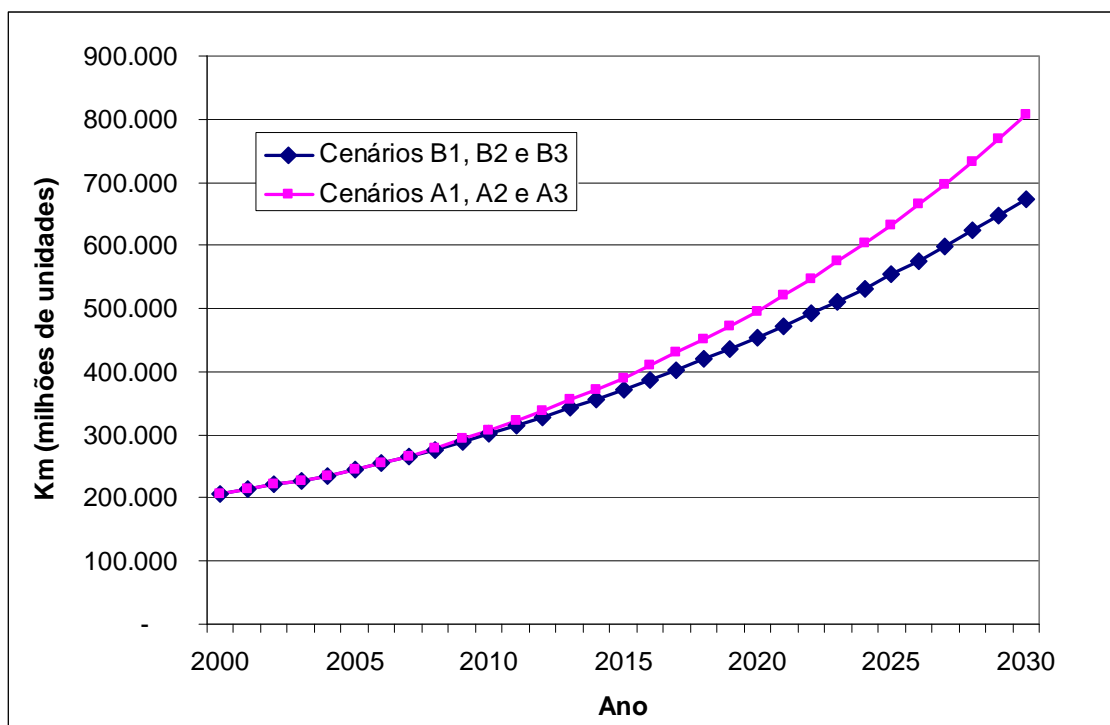


Figura 5.17 – Comparação entre a quilometragem percorrida nos dois grupos de cenários

Fonte: Elaboração própria

Pode-se dizer que a quilometragem percorrida apresenta uma diferença maior que a frota (16,5% contra 15,2%) na comparação entre os grupos de cenários no ano de 2030 porque com uma entrada menor de veículos novos, a frota circulante neste item tem uma idade média superior à frota descrita no item anterior. E como foi observado no capítulo 4, veículos mais antigos tendem a ser menos utilizados.

Na tabela 5.9, a seguir, são apresentados os consumos de energia dos cenários deste item comparados com os resultados obtidos pelos cenários anteriores.

Tabela 5.9 – Comparação entre o consumo de energia nos dois grupos de cenários

Ano	Cenário A1 (TJ)	Cenário B1 (TJ)	Cenário A2 (TJ)	Cenário B2 (TJ)	Cenário A3 (TJ)	Cenário B3 (TJ)
2000	594.211	594.211	594.211	594.211	594.211	594.211
2005	685.434	685.434	685.434	685.434	685.434	685.434
2010	839.696	826.663	831.423	818.714	819.957	807.694
2015	1.048.834	1.000.071	1.011.345	965.323	961.390	919.000
2020	1.315.267	1.204.381	1.224.047	1.123.026	1.107.493	1.018.988
2025	1.654.641	1.449.343	1.480.233	1.300.045	1.267.101	1.117.358
2030	2.084.116	1.742.900	1.788.622	1.500.515	1.443.837	1.217.190

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que o Cenário B1 consome 16,4% a menos de energia que o Cenário A1, o Cenário B2 consome menos 16,1% de energia que o Cenário A2 e que o Cenário B3 consome menos 15,7% de energia que o Cenário A3, todos no ano de 2030. As reduções no consumo de energia entre os próprios cenários do grupo B são muito próximas, em valores percentuais, das reduções obtidas nos cenários do item anterior. A redução percentual do Cenário B2 em relação ao cenário B1 é de 13,9%; do Cenário B3 em relação a B1 de 30,2% e do Cenário B3 em relação a B2 de 18,9%.

Na tabela 5.10, a seguir, observa-se as emissões de CO₂ nestes novos cenários e o percentual de redução de emissões de cada cenário.

Tabela 5.10 – Comparação das emissões nos cenários B1, B2 e B3

Ano	Cenário B1 (10 ³ tCO ₂)	Cenário B2 (10 ³ tCO ₂)	Cenário B3 (10 ³ tCO ₂)	Redução B2/B1	Redução B3/B1	Redução B3/B2
2000	29.910	29.910	29.910	0,0%	0,0%	0,0%
2005	34.536	34.536	34.536	0,0%	0,0%	0,0%
2010	33.758	33.387	33.062	1,1%	2,1%	1,0%
2015	35.020	33.778	32.417	3,5%	7,4%	4,0%
2020	38.877	36.191	33.137	6,9%	14,8%	8,4%
2025	44.715	39.955	34.592	10,6%	22,6%	13,4%
2030	52.578	44.997	36.681	14,4%	30,2%	18,5%

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar na tabela 5.11, a seguir, as emissões totais dos dois grupos de cenários.

Tabela 5.11 – Comparação das emissões totais no período 2000-2030

	Emissões totais no período (10 ³ ton CO ₂)	Redução percentual
Cenário A1	1.264.886	6,7%
Cenário B1	1.180.371	
Cenário A2	1.187.493	6,2%
Cenário B2	1.113.319	
Cenário A3	1.101.516	5,7%
Cenário B3	1.039.199	

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar também, que as emissões totais evitadas pelo Cenário B2 em relação ao Cenário B1 foram equivalentes a 5,7%; as emissões totais evitadas pelo Cenário B3 em relação ao B1 foram de 12%, e que as emissões totais evitadas pelo cenário B3 em relação ao B2 foram de 6,7%.

Na figura 5.18, a seguir, observa-se os fatores de emissão (em gCO₂/km) da frota circulante em cada um dos novos cenários.

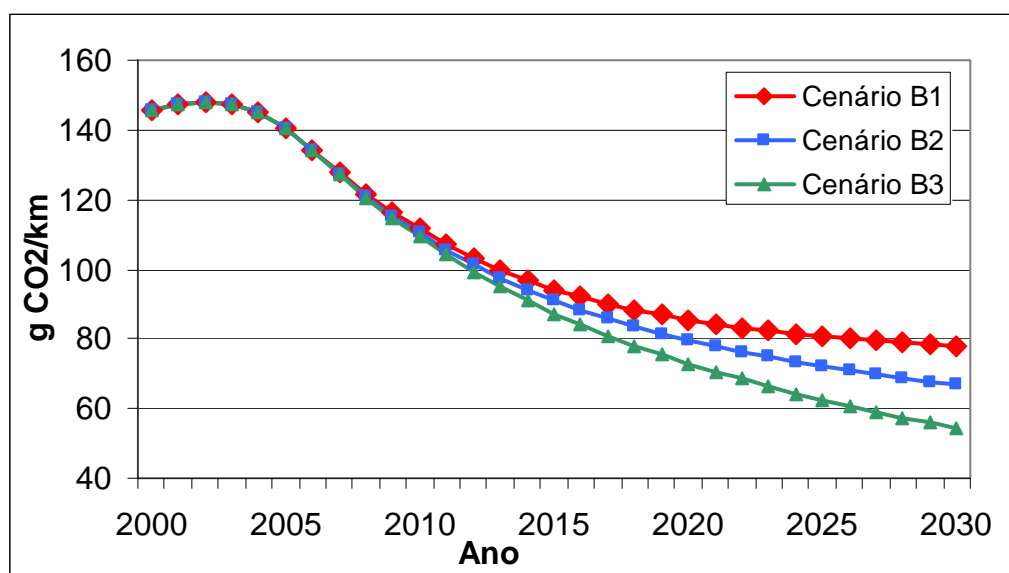


Figura 5.15 – Fatores de emissão médios da frota dos cenários do grupo B

Fonte: Elaboração própria

Na tabela 5.12, a seguir, esses valores são apresentados a cada 5 anos. Percebe-se nesta tabela que os valores são praticamente iguais, sendo porém, sempre maiores no grupo 2 dos cenários devido a maior idade média da frota.

Tabela 5.12 – Comparação dos fatores de emissão da frota circulante brasileira nos dois grupos de cenários (g CO₂/km)

	Cenário A1	Cenário B1	Cenário A2	Cenário B2	Cenário A3	Cenário B3
2000	145,89	145,890	145,89	145,89	145,89	145,89
2005	140,77	140,77	140,77	140,77	140,77	140,77
2010	111,16	111,66	109,91	110,43	108,81	109,36
2015	93,47	94,19	90,05	90,86	86,29	87,19
2020	84,96	85,62	78,91	79,71	72,01	72,98
2025	80,31	80,78	71,53	72,18	61,64	62,49
2030	77,69	77,99	66,24	66,74	53,70	54,41

Fonte: Elaboração própria

Assim como no grupo de cenários anterior, verificamos que a frota brasileira se encontra em posição privilegiada no mundo também neste grupo de cenários, sendo o seu fator de emissão em gCO₂/km menor que as metas de qualquer país analisado no capítulo 3 (figura 3.25, página 79). Novamente é válido lembrar que se as hipóteses descritas nos cenários no Capítulo 4 não se realizarem os valores de consumo de álcool, as emissões de CO₂ e os fatores de emissão de CO₂ da frota irão se alterar.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 – Conclusões

A sociedade moderna considera o transporte uma necessidade. Os sistemas de transportes desempenham um papel importante em relação ao cotidiano das pessoas, e conseqüentemente em relação ao seu comportamento. O transporte de bens e pessoas é muito importante para a grande maioria das atividades econômicas.

As melhorias no sistema de transporte aumentam a mobilidade e a acessibilidade de uma população, isto é inegável, mas podem afetar a sua qualidade de vida. O tráfego de veículos pode provocar congestionamentos, problemas de saúde, acidentes, perdas de vidas e mudanças no uso e ocupação do solo. Somando-se a isso, os poluentes provenientes desses veículos causam alterações ambientais tais como a poluição do ar local, regional e contribuem para o aumento do efeito estufa.

O aumento do efeito estufa é um problema de extrema importância para todos os países do mundo. O clima global vem sendo afetado principalmente pela queima de combustíveis fósseis. O aumento na temperatura média da superfície da Terra e mudanças nas condições meteorológicas mundiais estão entre as conseqüências esperadas, alterando os padrões de temperatura e precipitação, levando a diferentes impactos nos oceanos, solo e ciclo hidrológico entre outros, conforme apresentado no capítulo 2. As várias regiões do planeta terão impactos diferenciados, sendo que as regiões que dependem da agricultura, pesca ou outros recursos naturais serão as mais afetadas. Os países mais desenvolvidos possuem mais recursos e infra-estrutura para se adaptarem às conseqüências da mudança do clima. Por estas razões, muitas políticas governamentais vêm sendo concebidas e implementadas para reduzir o problema.

Os países em desenvolvimento ainda não têm compromissos no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, as negociações em curso podem levar à necessidade de comprometimento destes países com algum grau de controle de suas emissões. Isto mostra a necessidade de se conhecer o potencial dos países em reduzirem suas emissões.

As reduções de emissão de GEEs podem se constituir, juntamente com esta necessidade, em oportunidades no comércio internacional de créditos de carbono, principalmente no mercado criado no âmbito do Protocolo de Quioto.

Deste modo, a atividade de planejamento no Brasil não pode deixar de realizar estudos que apresentem tanto os níveis correntes de emissões de gases poluentes, quanto os níveis de emissões a que estarão sujeitos no futuro dependendo das ações de mitigação que sejam planejadas e implementadas. Assim, torna-se muito importante a realização de inventários brasileiros de gases de efeito estufa que permitam conhecer as fontes emissoras e respectivas responsabilidades, bem como a construção de cenários que apontem caminhos e oportunidades de se reduzir as emissões.

Considerando os impactos e efeitos produzidos pelos veículos automotores no meio ambiente, países de todo o mundo têm reagido de maneira a tentar diminuir os impactos das emissões de gases poluentes locais e de GEEs provenientes da queima de combustíveis por veículos leves através de programas de eficiência energética veicular.

A aplicação de melhorias tecnológicas nos motores dos veículos, a eficiência de combustíveis e a fixação de limites de consumo ou de emissão mais rigorosos favorecem a redução da emissão de GEEs. Neste estudo, a implantação de metas de eficiência ou de emissões foram estudadas mais a fundo no capítulo III.

Deve-se atentar que hoje, no Brasil, os consumidores de veículos leves têm acesso reduzido aos dados sobre a eficiência de seus veículos. Além disso, grande parte da imprensa especializada não chama a atenção para os aspectos de desempenho energético, focando apenas para os aspectos estéticos, de conforto e de potência, que tem se elevado de forma importante, muitas vezes acima das necessidades de rodagem no tráfego urbano e não levando em consideração a eficiência e o consumo específico, com uma clara margem para aperfeiçoamento.

A divulgação de índices de eficiência energética e o estabelecimento de metas de desempenho ou de emissões podem provocar resultados significativos, com reduções na quantidade de energia consumida, e na redução de emissões de GEEs e de poluentes locais.

No capítulo 3, ao se estudar os programas adotados em todo o mundo, algumas conclusões foram obtidas:

- O Japão e a Europa lideram e continuarão a liderar o mundo em termos do controle de emissão de GEEs e consumo de combustíveis de veículos leves, devido a políticas que favorecem veículos e combustíveis mais limpos e eficientes.
- Em termos de ganhos absolutos, a Califórnia e o Canadá provavelmente serão os líderes na próxima década, tendo o maior avanço.
- Outros países podem fazer bons avanços nos próximos anos, dependendo de como as suas políticas sejam implementadas. Os Estados Unidos e a China estarão tomando importantes decisões nos próximos anos, durante os próximos estágios de suas políticas de eficiência energética e de emissões de GEEs.
- Alguns países com frota significativa e vendas em expansão, como Índia, México, Coréia do Sul podem aplicar metas mais restritivas para que o objetivo de suas políticas sejam alcançados.

No Brasil, um fator extremamente favorável à implementação de um programa de eficiência energética é seu alinhamento com as políticas públicas nacionais, na medida em que o maior desempenho energético dos veículos tem como consequência natural o aumento da produtividade econômica e melhoria das condições ambientais, um ajuste racional das dimensões do mercado de combustíveis e a possibilidade de consolidar a auto-suficiência no abastecimento de petróleo atuando pela demanda. Um ponto de grande importância para este estudo é a identificação dos benefícios que um programa sério de eficiência energética pode proporcionar a vários segmentos da sociedade.

A indústria automobilística nacional será amplamente favorecida pelo avanço da eficiência veicular, que terá como decorrência uma maior aproximação à tecnologia praticada nos países desenvolvidos, representando um diferencial competitivo para o segmento.

Resta a certeza de que o ambiente é cada vez mais propício à implementação de um programa de eficiência veicular no Brasil, considerando inicialmente os veículos leves. Efetivamente a valorização e o incremento da eficiência veicular trazem benefícios em vários níveis: ganham os fabricantes, que têm seus produtos diferenciados quanto ao desempenho energético; ganham os consumidores com a economia de energia obtida; e ganha, principalmente, a sociedade brasileira.

Dessa forma, a partir dos cenários propostos e do modelo descrito no capítulo IV, foram obtidos resultados muito interessantes no que diz respeito à implantação de metas de eficiência para veículos leves no Brasil.

Os veículos do tipo *flex-fuel* representam hoje quase 90% das vendas totais. Em consequência a este fato, provavelmente em 2012 eles já serão mais numerosos que os

veículos movidos exclusivamente a gasolina, e em 2030 eles representarão cerca de 91% da frota total, fazendo com o que o consumo esperado de álcool hidratado cresça exponencialmente até o final do período simulado em todos os cenários avaliados.

Através da implantação das metas japonesas nos cenários A2 em 2025 ao invés de 2015 (com atraso de 10 anos) e A3 em 2015 (sem nenhum atraso), foi possível verificar a economia de energia consumida pela frota de veículos leves no Brasil. O Cenário A2 reduziu o seu consumo de energia de 2 para 1,8 milhões de TJ em 2030, representando uma economia de 14,2%. Já no Cenário A3, por possuir metas mais antecipadas, a redução foi maior, com o consumo caindo de 2 para 1,4 milhões de TJ em 2030, uma economia de 30,7%.

As emissões de CO₂, como eram de se esperar, também caíram bastante nos cenários propostos, em relação ao Cenário A1. O Cenário A2 conseguiu reduzir as suas emissões em 15% no ano de 2030, enquanto que o Cenário A3 reduziu suas emissões em 31%.

Verificou-se ainda que no Cenário A2, ao final do período simulado, as emissões totais evitadas foram da ordem de 77 milhões de toneladas de CO₂, enquanto que no Cenário A3 esse valor ficou próximo a 163 milhões de toneladas.

Foram calculados, também, os fatores de emissão da frota brasileira até 2030. Comparando-se estes valores com as metas de diversos países apresentadas no capítulo 3 deste trabalho, observa-se que o Brasil se encontra em posição extremamente favorável. Até mesmo no Cenário A1, sem metas de eficiência, os fatores de emissão da frota brasileira são menores que as metas de emissão veicular de qualquer país analisado. Isto não ocorre devido a uma grande eficiência da frota brasileira, mas devido ao uso do etanol como combustível (que possui baixo conteúdo de carbono). Deste

modo, a frota circulante do Brasil é provavelmente a frota com menor fator de emissão de CO₂ em todo o mundo, e deverá permanecer nesta posição por vários anos.

Sem a aplicação das metas de eficiência, o Cenário A1 indica que as emissões de CO₂ do setor de transportes podem crescer até 110% entre 2000 e 2030. Isto nos mostra a importância da elaboração de um programa de eficiência veicular no Brasil. No entanto, a sua implementação depende da habilidade e disposição dos governos de fazê-lo.

A princípio os cenários propostos podem parecer muito otimistas, mas cabe lembrar que o aumento de eficiência energética proposto foi baseado nas metas do Japão, cuja frota possui uma tecnologia avançada em comparação com a frota brasileira. Isto nos leva a crer que existe um grande espaço para melhoria da eficiência energética no segmento de veículos leves no Brasil, portanto os cenários aqui propostos podem ser considerados conservadores.

O aumento da participação do transporte coletivo no Brasil é de extrema importância para a diminuição do consumo de combustíveis e conseqüente redução de emissões de GEEs. Desta forma, as metas propostas neste estudo devem ser apenas parte de uma política mais ampla no setor de transportes.

Caso as hipóteses deste estudo sejam confirmadas, a produção brasileira de etanol e conseqüentemente a área plantada de cana de açúcar irão crescer bastante até 2030. Desta forma, existe a possibilidade de que a cana provoque um aumento no desmatamento no Brasil e concorra com a produção de alimentos. Para evitar estes impactos negativos, é necessário que exista um planejamento detalhado do setor.

6.2 – Recomendações

- Atualização e ampliação de dados sobre frota a GNV circulante no país: Este dado ainda não está disponível, com qualidade satisfatória, junto aos departamentos de trânsito.
- Atualização dos dados gerais sobre a frota brasileira.
- Atualização da curva de sucateamento de veículos leves no Brasil: A curva de sucateamento utilizada neste estudo foi elaborada a partir de dados para a frota nacional como um todo, e para a frota existente no ano de 1988. Com isso, a mesma pode não ser muito representativa do real sucateamento dos veículos na no período 2000-2030 considerado. Entretanto, como não há outros estudos mais atualizados, decidiu-se adotar esta curva proposta pela Petrobrás, que ainda é a mais utilizada em estudos dessa natureza no País.
- Metas de eficiência energética veicular: Um grande avanço seria a criação de um programa federal nos moldes internacionais apresentados no capítulo 3, com o estabelecimento de metas de eficiência energética ou de emissões de GEEs, e a disponibilização para o público consumidor de uma base de dados com informações sobre consumo de combustível dos veículos disponíveis no mercado, medidas segundo uma metodologia padrão. Infelizmente, a indústria automobilística nacional ainda trata esse tipo de informação como “informação estratégica”.
- O IBAMA já possui os dados de eficiência energética dos veículos brasileiros, que são testados a cada ano pela CETESB. A divulgação destas informações é crucial para que haja uma conscientização do consumidor, auxiliando na escolha de veículos mais eficientes.
- Uma sugestão para estudos futuros seria a análise quantitativa das emissões de poluentes locais evitadas devido à implantação de um programa de eficiência energética veicular.

- Nesse trabalho não foi considerada nenhuma restrição na oferta de etanol no Brasil. Caso a produção não seja suficiente para atender aos cenários aqui descritos, este combustível será, provavelmente, substituído pela gasolina nos veículos *flex-fuel*, desse modo as emissões de CO₂ provenientes dos veículos leves aumentariam consideravelmente. Portanto um estudo detalhado de oferta de etanol para as próximas décadas torna-se muito importante para a confecção de cenários mais confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZUGUIR, C. D., CORDEIRO, T., 2007. CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural. Apresentação. Novembro de 2007.

AN, F., 2006. The Chinese Fuel Economy Standards for Passenger Vehicles: How it Works, the Targets, the Effects. An European-Asian Policy Workshop on Cars, Climate and Energy Berlin, Germany, 2006.

AN, F. AND SAUER A. 2004. Comparison of Passenger Vehicle Fuel Economy and Greenhouse Gas Emission Standards Around the World. Disponível em: http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/fuel_economy. Acessado em 07/01/2008.

NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2005. Cadernos NAE – Biocombustíveis, nº. 2. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005. Brasília.

LA ROVERE, E. L. et al., 2006. Greenhouse Gas Mitigation in Brazil, China and India: Scenarios and Opportunities Through 2025. Center for Clean Air Policy. Disponível em www.ccap.org. Acessado em dezembro de 2006.

CENTRO CLIMA, 2006. Emissões Evitadas e Cenários Futuros de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo. Centro Clima/COPPE/UFRJ. Disponível em www.centroclima.org.br.

CETESB, 2006. Relatório de qualidade do ar em São Paulo 2006. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo.

NOGUEIRA, L. A. H., BRANCO, G. M., 2005. Promovendo a eficiência energética nos automóveis brasileiros. Preparado por L. A. Horta Nogueira e G. M. Branco. Rio de Janeiro: CONPET, PETROBRAS, 2005.

CQNUMC, 1992. CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (CQNUMC), Secretariado da Convenção sobre Mudança do Clima, 1ª Edição em português, Brasília, PNUMA, 1999;

DUBEUX, C. B. S., 2007. Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Municípios Brasileiros: Metodologias para Elaboração de Inventários Setoriais e Cenários de Emissões como Instrumentos de Planejamento. Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

EIA – ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2003. Annual energy Outlook 2003 with projections to 2025. In: U.S. Department of Energy, Washington, D.C.

EPA, 2007. Light-Duty Automotive Technology and Fuel Economy Trends: 1975 through 2007. United States Environmental Protection Agency. United States, 2007.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2004. World Energy Outlook, ECD/IEA, Paris, França.

IBAMA, 1998. Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. Coleção Meio Ambiente – Série Diretrizes – Gestão Ambiental nº2. MMA/IBAMA, Brasília.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION, 2007.

Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standards: A Global Update.

Disponível em:

http://www.lowcvp.org.uk/assets/reports/ICCT_GlobalStandards_2007.pdf. Acessado

em 07/01/2008

IPCC, 2001. Third Assessment Report, Climate Change 2001: The Scientific Basis.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

KÅGESON, P., 2007. A European Regulation on the Fuel Efficiency of New Cars. Commissioned by the Low Carbon Vehicle Partnership. 2007.

LUTSEY, N., SPERLING, D., 2007. Canada's voluntary agreement on vehicle greenhouse gas emissions: When the details matter. Transportation Research Part D 12 (2007) pg 474–487.

MATTOS, L. B. R., 2001. A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O Caso do Município do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

MCT/MRE, 1999. Protocolo de Quioto à Convenção do Clima, editado e traduzido pelo MCT e MRE.

MCT/MRE, 2000. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, editado e traduzido pelo MCT e MRE.

MENDES, F. E., 2004. Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves no Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

MME, 2007. Balanço Energético Nacional. Brasília: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Ministério de Minas e Energia, 2007.

MORAES, N. G., 2005. Avaliação das Tendências da Demanda de Energia no Setor de Transportes no Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

LIMA, 2005. Relatório de Avaliação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, Lima/COPPE/UFRJ.

RIBEIRO, L. S., 2003. O Impacto do Gás Natural nas Emissões de Gases de Efeito Estufa: O Caso do Município do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

THE CENTRE FOR BUSINESS RELATIONSHIPS, ACCOUNTABILITY, SUSTAINABILITY AND SOCIETY, 2007. Car CO₂ Reduction Feasibility Assessment; Is 130g/km Possible? Cardiff, Wales, UK, September 2007.

TRANSPORT CANADÁ, 2008. Background Paper for the Development of Motor Vehicle Fuel Consumption Regulations. Disponível em:

<http://www.tc.gc.ca/pol/en/environment/FuelConsumption//BackgroundPaper.html>.

Acessado em: 10/02/08.

ANEXO 1

LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001

Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente.

Art. 2º O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.

§ 1º Os níveis a que se refere o caput serão estabelecidos com base em valores técnica e economicamente viáveis, considerando a vida útil das máquinas e aparelhos consumidores de energia.

§ 2º Em até 1 (um) ano a partir da publicação destes níveis, será estabelecido um Programa de Metas para sua progressiva evolução.

Art. 3º Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho.

§ 1º Os importadores devem comprovar o atendimento aos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, durante o processo de importação.

§ 2º As máquinas e aparelhos consumidores de energia encontrados no mercado sem as especificações legais, quando da vigência da regulamentação específica, deverão ser recolhidos, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, pelos respectivos fabricantes e importadores.

§ 3º Findo o prazo fixado no § 2, os fabricantes e importadores estarão sujeitos às multas por unidade, a serem estabelecidas em regulamento, de até 100% (cem por cento) do preço de venda por eles praticados.

Art. 4º O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País.

Art. 5º Previamente ao estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, de que trata esta Lei, deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores

de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas.

Art. 6º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 17 de outubro de 2001; 180º da Independência e 113º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

José Jorge

Pedro Parente

Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 18/10/2001 - Seção I-E