

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR PAULA DUARTE
ARAÚJO..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 18.10.2008
.....
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

O Uso Energético do Hidrogênio Produzido por Fontes Renováveis para a Aplicação Veicular no Contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Estudo de Caso na Cidade de São Paulo

Autora: Paula Duarte Araújo
Orientador: Prof. Dr. Ennio Peres da Silva

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

O Uso Energético do Hidrogênio Produzido por Fontes Renováveis para a Aplicação Veicular no Contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Estudo de Caso na Cidade de São Paulo

Autor: Paula Duarte Araújo
Orientador: Ennio Peres da Silva

Curso: em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2008
S.P. – Brasi

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

Ar15u Araújo, Paula Duarte
O uso energético do hidrogênio produzido por fontes renováveis para aplicação veicular no contexto do mecanismo de desenvolvimento limpo: estudo de caso na cidade de São Paulo / Paula Duarte Araújo.--Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Ennio Peres da Silva.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Dióxido de carbono – São Paulo (Cidade). 2. Células a combustível. 3. Hidrogênio. 4. São Paulo (Cidade). I. Silva, Ennio Peres da. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Titulo em Inglês: The energy use of hydrogen produced by renewable resources for vehicular applications in the context of the clean development mechanism

Palavras-chave em Inglês: CO2, São Paulo City, Fuel cell vehicles, Hydrogen

Titulação: Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Newton Pimenta Neves Jr., Luci Hidalgo Nunes, Sônia Regina da Cal Seixas Barbosa, Carla Kazue Nakao Cavaliero

Data da defesa: 18/02/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

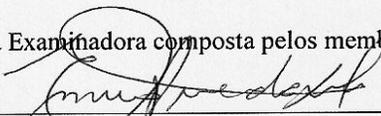
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

TESE DE DOUTORADO

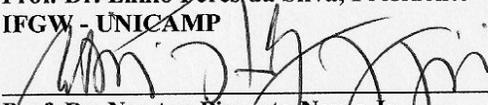
**O Uso Energético do Hidrogênio Produzido por
Fontes Renováveis para a Aplicação Veicular
no Contexto do Mecanismo de Desenvolvimento
Limpo: Estudo de Caso na Cidade de São Paulo**

Autor: **Paula Duarte Araújo**
Orientador: **Ennio Peres da Silva**

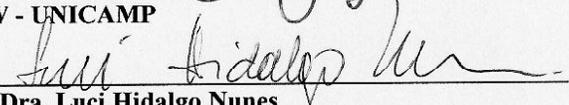
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:



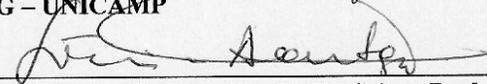
Prof. Dr. Ennio Peres da Silva, Presidente
IFGW - UNICAMP



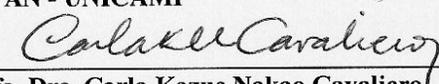
Prof. Dr. Newton Pimenta Neves Jr
IFGW - UNICAMP



Prof. Dra. Luci Hidalgo Nunes
IG - UNICAMP



Profa. Dra. Sônia Regina da Cal Seixas Barbosa
NEPAN - UNICAMP



Profa. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero
DE - FEM - UNICAMP

Campinas, 18 de fevereiro de 2008.

Dedicatória:

Dedico este trabalho a Deus. A minha mãe. Ao meu marido.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Ennio Peres da Silva mais uma vez, pela confiança, pela orientação e apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha mãe pelos conselhos e ao meu marido pela paciência.

Aos colegas do Instituto AQUA GENESIS: Cris, Deise e Gheisa. Aos colegas do Laboratório de Hidrogênio: Cristiano, Paulo, Fernando, Daniel, Antônio e João e todos os demais. A Fabiana Viana e a Carlinha.

Ao Sr. Renato Linke, da CETESB, pelas informações sobre a frota de veículos da cidade de São Paulo. Ao Sr. Olympio também da CETESB, que tão prontamente me ajudou na ausência do Sr Renato Linke. Ao Sr. Marcos da KeyAssociados pelas informações sobre MDL, titularidade e outras informações importantes para este trabalho. A Kamyła pelas informações e orientações preciosas. Ao Dr. Marcos da Ciclo Ambiental pelas informações de última hora.

Ao Laboratório de Hidrogênio e ao Instituto AQUA GENESIS pelo apoio material durante todo este trabalho e pelo apoio financeiro durante o primeiro ano do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CNPQ) pelo apoio financeiro concedido no segundo ano do curso.

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui. Muito obrigado.

*“Alguns homens vêem
As coisas como são
E dizem por quê?”*

*Eu sonho com as coisas
Que nunca foram
E digo por que não? “*

George Bernard Shaw

Resumo

ARAÚJO, Paula Duarte, *O Uso Energético do Hidrogênio Produzido por Fontes Renováveis para a Aplicação Veicular no Contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Estudo de caso na Cidade de São Paulo*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 231 p. Tese (Doutorado)

A Cidade de São Paulo apresenta graves problemas advindos da acelerada urbanização e do processo de industrialização. Com um número cada vez maior de veículos circulando por suas vias, agrava-se o número de congestionamentos, fazendo com que a poluição do ar aumente cada vez mais, assim como a emissão de dióxido de carbono (CO₂), um dos gases responsáveis pelo aquecimento global do planeta.

Esta tese teve como objetivo principal quantificar as reduções nas emissões de CO₂, na Cidade de São Paulo, ao se introduzir uma frota de veículos leves com células a combustível a hidrogênio. Para isto foi consolidada uma metodologia de projeção para a frota, assim como foram desenvolvidos quatro cenários para introdução da nova frota. Também foram determinadas as emissões de CO₂ associadas à produção de hidrogênio por fontes renováveis de energia (eólica, hidráulica, solar fotovoltaica e etanol).

A partir da introdução da nova frota foi possível obter reduções significativas nas emissões de CO₂. Outro resultado importante foi poder verificar como é lento o processo de redução de emissões de CO₂ quando se tem que introduzir uma nova tecnologia, onde apenas uma fração dos veículos é substituída. Finalizando foi apresentada uma breve discussão sobre a questão da titularidade dos créditos de carbono a serem recebidos.

Palavras Chave

CO₂, Cidade de São Paulo, Veículos com células a combustíveis, hidrogênio

Abstract

ARAÚJO, Paula Duarte, *The Energy Use of Hydrogen Produced by Renewable Resources for Vehicular Applications in the Context of the Clean Development Mechanism*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 231p. Thesis (Doctorate)

The city of Sao Paulo presents severe problems from the accelerated urbanization and from the industrialization process. With an increasing number of vehicles in its streets, the traffic jams become more severe, causing an increase in the level of atmospheric pollutants, as well as the emission of carbon dioxide (CO₂), one of the gases that cause the global warming.

The main objective of this thesis is to quantify the reduction in the emissions of CO₂ if a fleet of light vehicles with fuel cells fed by hydrogen is introduced in the city of Sao Paulo. In order to do so, it is proposed a methodology for projecting the fleet increase, as well as four scenarios for introducing the new fleet. The emissions of CO₂ associated with the hydrogen production from renewable sources of energy (wind power, hydropower, solar photovoltaic and ethanol fuel) were also determined.

Form the introduction of the new fleet it was possible to obtain significant reduction in the emissions of CO₂. Another important result that was verified is the slow process of reduction in the emissions of CO₂ when a new technology is introduced if only a fraction of the vehicles is substituted. Finally, a brief discussion about the ownership of the carbon credits is presented.

Key Words

CO₂, Sao Paulo City, Fuel cell vehicles, hydrogen

Índice

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvii
1 Introdução	1
1.1 Objetivo da tese	5
1.2 Escopo e delimitações da tese	6
1.3 Organização da tese	8
2 Revisão da Literatura	11
2.1 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	11
2.1.1 Estrutura institucional do MDL	14
2.1.2 Etapas para o projeto de MDL	16
2.1.3 Mercado de créditos de carbono do Protocolo de Quioto	23
2.1.4 <i>Status</i> dos projetos de MDL	28
2.1.5 Projetos e metodologias de MDL para o setor de transporte no Mundo	32
2.2 Veículos com células a combustível a hidrogênio	34
2.2.1 Células a combustível	35
2.2.2 Configuração dos veículos com CaCs	37
2.2.3 Aplicações veiculares das CaCs	40
2.2.4 Políticas para o desenvolvimento de veículos com CACs	50
2.3 Produção de hidrogênio por fontes alternativas	54
2.3.1 Eletrólise	56
2.3.2 Biomassa (reforma de etanol)	64
2.4 Trabalhos relacionados ao tema	67

3 Metodologia	73
3.1 Tratamento dos dados	75
3.1.1 Dados da frota	75
3.1.2 Metodologia de projeção da frota	76
3.1.3 Taxas de sucateamento	79
3.2 Metodologia para o cálculo das emissões de CO ₂	81
3.3 Determinação dos cenários de introdução da frota de CaCs	86
3.4 Cálculo do consumo de hidrogênio	88
3.4.1 Cálculo das emissões geradas na produção de hidrogênio	88
3.5 Cálculo das emissões totais evitadas de CO ₂	89
3.6 Cálculo dos créditos de carbono a serem obtidos	90
4 Quantificação das Emissões de CO₂ na CSP 2005 a 2025 – Frota Atual e Projetada	91
4.1 Tratamento dos dados	91
4.1.1 Dados da frota da CSP	91
4.1.2 Metodologia para projeção da frota	100
4.1.3 Taxas de sucateamento	109
4.2 Cálculo das emissões de CO ₂ na CSP	117
5 Quantificação das Emissões de CO₂ na CSP 2005 a 2025 – Frota de veículos com CaCs	121
5.1 Cenários para introdução de uma frota de veículos com CaCs	121
5.2 Cálculo das emissões de CO ₂ na CSP	127
5.3 Cálculo do consumo de hidrogênio	129
5.4 Cálculo das emissões evitadas	130
6 Análise dos Resultados	135
6.1 Análise dos resultados obtidos com a introdução dos veículos CaCs a hidrogênio na CSP	134
6.2 Análise da adequação deste projeto aos requisitos para se tornar um projeto de MDL	136

6.3 Análise dos créditos de carbono a serem obtidos	138
6.4 Discussão sobre a titularidade dos créditos de carbono	140
7 Conclusões e Sugestões	143
Referências Bibliográficas	149
Anexos I	161
Anexos II	165
Anexos III	191

Lista de Figuras

2.1 - Etapas do ciclo de projeto de MDL	17
2.2 - Resumo das aplicações e vantagens de cada tipo de CaCs em diferentes utilizações	37
2.3 - Funcionamento veículo elétrico puro x veículo elétrico híbrido	39
2.4 - Número de veículos com células a combustível	41
2.5 - Ford <i>Edge</i> 2007	43
2.6 - <i>Plug-in</i> para recarga da bateria e <i>HySeries Drive</i> no Ford <i>Edge</i> 2007	43
2.7 - Toyota FCHV	44
2.8 - Honda FCXV 4	45
2.9 - Honda FCX <i>Concept</i>	46
2.10 - Honda FCX FC <i>Stack</i> . (a) novo <i>layout</i> com fluxo vertical (b) antigo <i>layout</i> com fluxo horizontal	46
2.11 - GM <i>Equinox Fuel Cell</i>	47
2.12 - Chevrolet <i>Sequel</i> da GM	48
2.13 - GM <i>HiWire</i> o primeiro veículo a utilizar totalmente o conceito <i>drive-by-wire</i>	49
2.14 - Veículo <i>F-Cell</i> desenvolvido pela Daimler, disponível em pequenas frotas	50
2.15 - Diagrama simplificado da obtenção do hidrogênio através das fontes renováveis	55
3.1 - Fluxograma de desenvolvimento do trabalho	74
3.2 - Cenários de linha de base e alternativos	87
4.1 - Frota de veículos leves da CSP no período 1996-2006	94
4.2 - Tendência da distribuição etária dos veículos da frota da CSP	98
4.3 - Curva PRODESP x curva transladada	100
4.4 - Frota projetada para CSP até 2025 - Método direto	103
4.5 - Projeção da população de CSP até 2025	104
4.6 - Projeção da população da CSP pelo IBGE e Fundação SEADE no período de	

1996 a 2005	105
4.7 - Projeção da frota de veículos da CSP pelo índice de motorização	107
4.8 - Frota de veículos projetada para a CSP de 2005 a 2025	108
4.9 - Curva de sucateamento do IPT	109
4.10 - Curva de sucateamento do MCT	109
4.11 - Comparação entre as curvas de sucateamento do IPT e do MCT	110
4.12 - Curva de sucateamento obtida a partir dos dados da frota de CSP	111
4.13 - Comparação entre as curvas de sucateamento do IPT e do MCT com os dados para a CSP	112
4.14 - Comparação entre os dados da PRODESP para a CSP e as curvas de sucateamento do IPT, do MCT e MCT ajustada	113
4.15 - Composição da frota até 2025 - Projeção otimista	117
4.16 - Composição da frota até 2025 - Projeção conservadora	117
4.17 - Emissões de CO ₂ para a CSP para os anos de 2005, 2020, 2015, 2020 e 2025 – Projeção otimista	118
4.18 - Emissões de CO ₂ para a CSP para os anos de 2005, 2020, 2015, 2020 e 2025 – Projeção conservadora	118
4.19 - Emissões totais de CO ₂ devido ao uso de gasolina pelos veículos leves na CSP	120
5.1 - Cenários de introdução da frota de veículos com CaCs de 2009 a 2025 – Projeção Otimista	124
5.2 - Cenários de introdução da frota de veículos com CaCs de 2009 a 2025 – Projeção conservadora	124
5.3 - Distribuição da frota de veículos <i>flex</i> e da frota de veículos com CaCs para os cenários B, C e D – Projeção otimista	125
5.4 - Distribuição da frota de veículos <i>flex</i> e da frota de veículos com CaCs para os cenários B, C e D – Projeção conservadora	125
5.5 - Emissões de CO ₂ (gCO ₂) para os cenários de introdução da frota de veículos com CaCs – Projeção otimista	128
5.6 - Emissões de CO ₂ (gCO ₂) para os cenários de introdução da frota de veículos com CaCs – Projeção conservadora	128
5.7 - Emissões evitadas de CO ₂ com a utilização de veículos com CaCs para cada fonte de	

energia – Projeção Otimista	133
5.8 - Emissões evitadas de CO ₂ com a utilização de veículos com CaCs para cada fonte de energia – Projeção Conservadora	133

Lista de Tabelas

2.1 - Movimentação do mercado de carbono para os anos de 2005 e 2006	25
2.2 - Distribuição das atividades de projeto de MDL no Brasil por tipo de atividade	30
2.3 - Emissões para os diversos tipos de motores	38
2.4 - Exigências do Programa ZEV para modelos de 2009 – Cenário de base	52
2.5 - Exigências para o caminho alternativo	52
2.6 - Emissões de GEE de algumas hidrelétricas brasileiras	58
2.7 - Fatores de emissões utilizados na estimativa das emissões de GEE nas hidrelétricas brasileiras	60
2.8 - Requisitos específicos de CO ₂ na produção e operação de uma turbina eólica sob diferentes cenários no Brasil	62
2.9 - Emissões no ciclo de vida do etanol	67
3.1 - Distribuição linear da taxa de sucateamento	80
3.2 - Distância média percorrida anualmente	83
3.3 - Fatores de emissão de CO ₂ para veículos leves	85
4.1 - Quantidade e composição etária da frota de veículos leves da CSP	93
4.2 - Distribuição etária da frota de veículos leves da CSP	95
4.3 - Funções de ajuste para a CSP	101
4.4 - Índice de motorização para a CSP - 1996 a 2005	106
4.5 - Diferentes valores da taxa de sucateamento para veículos com um ano de uso	114
4.6 - Resultados da projeção da frota de 1996 para o ano de 2003	115
5.1 - Número mínimo de veículos ZEV após modificações em 2007	122
5.2 - Número mínimo de veículos ZEV após correção do índice	122
5.3 - Principais características	126
5.4 - Consumo de combustível	127

5.5 - Consumo de hidrogênio da frota de veículos CaCs da CSP	129
5.6 - Energia anual requerida (GWh) para a produção de hidrogênio	130
5.7 - Volume de etanol (litros) anual requerido para a produção de hidrogênio	131
5.8 - Índices de emissão de CO ₂ para as fontes de produção de hidrogênio	132
6.1 - Emissões evitadas de CO ₂ obtidos para os cenários de introdução de veículos com CaCs a hidrogênio.	136
6.2 - <i>Check-list</i> dos requisitos de um DCP	137
6.3 - Emissões evitadas acumuladas no período de 2009 a 2025 em 10 ⁶ t	138
6.4 - GWP para os GEE	139
6.5 - Valores a serem recebidos pelas emissões evitadas com a introdução dos veículos com CaCs a hidrogênio no período de 2009 a 2025 (milhões de Euros)	139

Nomenclatura

Abreviações

ACV - Análise de Ciclo de Vida

AAUs - do inglês *Assigned Amount Units*

AFC - do inglês *Alkaline Fuel Cell*

AND - Autoridade Nacional Designada

AOD - Assistência Oficial ao Desenvolvimento

AT PZEV - do inglês *Advanced Technology Partial Zero Emission*

CaC - Célula a Combustível

CaCs - Células a Combustível

CCA - do inglês *Climate Change Agreement*

CE - Conselho Executivo

COP - Conferência das Partes

CSP - Cidade de São Paulo

DGP - Documento de Concepção do Projeto

DMFC - do inglês *Direct Methanol Fuel Cell*

EOD - Entidade Operacional Designada

EUAs - do inglês *European Union Allowances*

FC - do inglês *Fuel Cell*

FCV - do inglês *Fuel Cell Vehicle*

GEE - Gases de Efeito Estufa

IC - Implementação Conjunta

LEV - do inglês *Low Emission Vehicle*

LULUCF - do inglês *Land Use, Land Use Change and Forestry*

MCFC - do inglês *Molten Carbonate Fuel Cell*
n/d - não declarado
PAFC - do inglês *Phosphoric Acid Fuel Cell*
PEMFC - do inglês *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*
PZEV - do inglês *Partial Zero Emissions Vehicles*
RCEs - Reduções Certificadas de Emissões
RGGI - do inglês *Regional Greenhouse Gas Initiative*
SOFC - do inglês *Solid Oxid Fuel Cell*
SULEV - do inglês *Super Ultra Low Emission Vehicle*
ULEV- do inglês *Ultra Low Emission Vehicle*
URE - Unidade de Redução de Emissões
UER - Unidade de Emissão Reduzida
ZEV - do inglês *Zero Emission Vehicle*

SIGLAS

CARB - do inglês *California Air Resources Boards*
CaFCP - do inglês *California Fuel Cell Partnership*
CCX - do inglês *Chicago Climate Exchange*
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CIMGC - Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia.
CQNUMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
EPA - do inglês *US Environmental Protection Agency*
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EU - União Européia
EUA - Estados Unidos da América
EU ETS - do inglês *European Union Emissions Trading Scheme*
IEA - do inglês *International Energy Agency*
IPCC - do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*
MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NREL - do inglês *National Renewable Energy Laboratory*
NSW - do inglês *New South Wales*
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU - Organização das Nações Unidas
POST - do inglês *Parliamentary Office of Science and Technology*
PROCONVE - Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
UK ETS - do inglês *United Kingdom Emissions Trading Scheme*
UNFCCC - do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*
WBCSD - do inglês *World Business Council for Sustainable Development*

SÍMBOLOS

CH₄ - Metano
CO₂ - Dióxido de carbono
CO - Monóxido de carbono
HC - Hidrocarbonetos totais
HFCs - Hidroclorofluorcarbonos
MP - Material particulado
N₂O - Dióxido de nitrogênio ou óxido nitroso
NO_x - Óxido de nitrogênio
PFCs - Perfluorcarbonos
RCHO - Aldeídos
SF₆ - Hexafluoreto de enxofre
SO_x - Óxido de enxofre

Capítulo 1

Introdução

O uso e a aplicação das diferentes formas de energia permitiu ao homem, nos últimos 200 anos, um crescimento econômico mundial sem precedentes. Em contrapartida todo este crescimento vem causando sérios problemas ao meio ambiente, seu principal fornecedor de insumos.

A produção de energia a partir de combustíveis fósseis e o seu uso intensivo fizeram com que ocorresse um acúmulo de gases de efeito estufa (GEE)¹ na atmosfera. O efeito estufa é um fenômeno natural que permite a vida na Terra, pois provoca o aquecimento da superfície do planeta ao impedir que parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre vá para o espaço (Ribeiro, 2000).

Segundo o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima, divulgado pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima) em 2007, *“... desde a época pré-industrial, as emissões crescentes de gases de efeito estufa decorrentes das atividades humanas provocaram um aumento acentuado das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa ...”*. O Relatório também indica que *“... o maior aumento das emissões globais de gases de efeito estufa entre 1970 e 2004 se deu no setor de oferta de energia (um aumento de 145%). O aumento, neste período, das emissões diretas dos transportes foi de 120%,*

¹ Os principais gases de efeito estufa são segundo o Protocolo de Quioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), acompanhado por suas famílias de gases, hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs).

da indústria, 65%, e do uso da terra, mudança do uso do solo da terra e florestas, 40% ...” (IPCC, 2007).

A preocupação com o controle das atividades humanas perniciosas ao meio ambiente e o futuro das futuras gerações é fruto de negociações que se iniciaram na década de 60 do século passado. A partir desta época começou a ser proposto um novo modelo que, diferente do predominantemente adotado até então (capitalista industrial), considerava a necessidade de preservação do meio ambiente, que mais tarde viria a ser chamado desenvolvimento sustentável.

Enquanto isto, a grande maioria dos países integrantes das Nações Unidas adotou postura concordante com os objetivos estabelecidos na chamada “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima” (CQNUMC) (Lopes, 2002), apresentada inicialmente em Nova Iorque e aberta no mesmo ano para assinatura na Cúpula da Terra, no Rio de Janeiro (Eco-92).

A referida “Convenção do Clima”, tendo reconhecido não só a existência do problema de aquecimento global do planeta, mas também sua evidente relação com as emissões de GEE, propôs a todos os países signatários um acompanhamento detalhado das mudanças nas emissões e reduções de gases nocivos à atmosfera. Mais importante, a Convenção recomendou aos países desenvolvidos, responsáveis pela maior produção de GEE, a implementação de medidas direcionadas para a mitigação da indesejada mudança do clima terrestre.

Em consequência à CQNUMC foi aprovado em 1997 o Protocolo de Quioto, um acordo internacional, ratificado por 141 países, que estabelece metas para que as emissões antrópicas² sejam reduzidas em 5,0% na média, com relação aos níveis verificados no ano de 1990. O Protocolo foi acordado em 1997 e entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, após a decisão da Rússia em ratificá-lo, no ano anterior. Para entrar em vigor era necessário que o tratado reunisse os responsáveis por pelo menos 55% das emissões mundiais. Dentro da proposta do protocolo, apenas 30 países industrializados estão sujeitos a essas metas.

² São as emissões produzidas pelo homem.

Embora muitos países tenham aderido ao protocolo, países em desenvolvimento não tiveram de se comprometer com metas específicas. Como signatários, no entanto, eles precisam manter a Organização das Nações Unidas (ONU) informada do seu nível de emissões e buscar o desenvolvimento de estratégias para as mudanças climáticas.

Os países participantes são classificados em Partes do Anexo I e Partes Não do Anexo I. Os países que compõem as Partes do Anexo I são os países industrializados pertencentes à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 1990 e os países industrializados da antiga União Soviética e do Leste Europeu. Já os países das Partes Não Anexo I são países que não possuem metas de redução e são, em geral, países em desenvolvimento (Lopes, 2002).

A partir desta definição foram estabelecidas metas diferentes para cada país do Anexo I, pois a proposta de redução considera as emissões históricas, prevalecendo o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada. O primeiro período de compromisso, para se alcançar estas medidas, vai de 2008 até 2012.

O Protocolo estabelece também, como complementação às medidas e políticas das Partes do Anexo I, mecanismos adicionais de implementação permitindo que a redução das emissões e/ou aumento da remoção de dióxido de carbono (CO₂) pelas Partes do Anexo I sejam, parcialmente, obtidas além de suas fronteiras. Estes mecanismos adicionais são três (Ministério de Ciência e Tecnologia- MCT, 2005a):

- Implementação Conjunta (*Joint Implementation-JI*) - consiste na possibilidade de um país do Anexo I receber Unidades de Emissão Reduzida (UER), quando ajuda a desenvolver projetos que provoquem redução de emissão em outros países do Anexo I, de forma suplementar às ações domésticas (art. 6 do Protocolo);

- Comércio de Emissões (*Emission Trading-ET*) - consiste na possibilidade de que países do Anexo I, compromissados em reduzir emissões de GEE, possam comercializar as unidades de emissão evitada com outras partes, com o objetivo de incrementar a eficiência econômica na redução de emissões (art.17 do Protocolo);

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism-CDM*) - permite aos países industrializados financiar projetos de emissão evitada em países em desenvolvimento e receber créditos por assim agirem, como forma de suprir parte de seus compromissos (art. 12 do Protocolo).

A partir da divulgação do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC no início de 2007 e de uma série inédita de eventos climáticos globais de graves conseqüências, intensificou-se em todo mundo a adoção de projetos, programas e ações para a redução das emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa, tanto por parte dos países que ratificaram o Protocolo de Quioto como também daqueles que não o fizeram e que buscam alternativas que conduzam ao mesmo resultado. A maior parte destas medidas refere-se ao consumo de energia, tratando tanto de um uso mais eficiente das fontes fósseis, como da ampliação do uso das fontes renováveis.

Como já mencionado, o setor de transportes contribui de forma significativa para as emissões de GEE e, neste setor, as propostas de mudanças vão desde a instalação de filtros e regulagens periódicas mais freqüentes dos veículos, até a substituição das frotas por veículos “limpos” (com baixa ou nenhuma emissão de poluentes e outros gases pelo sistema de propulsão). Para quaisquer destas propostas a estimativa e a análise dos efetivos ganhos ambientais devem ser confrontados com os seus respectivos custos econômicos e sociais, bem como deve-se comparar as diferentes alternativas para que cada sociedade possa escolher as mais convenientes, mas que conduzam ao cumprimento das metas estabelecidas pelos acordos internacionais.

Ao abordar esta temática, este trabalho significa também uma continuação da proposta do estudo iniciado pela autora em seu programa de mestrado, cujo objetivo foi analisar os impactos ambientais e na matriz de consumo de combustíveis que a introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível a hidrogênio causaria na cidade de São Paulo. Naquele trabalho deu-se ênfase aos poluentes de origem veicular: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e material particulado (MP). Concluiu-se que a introdução de uma frota de veículos novos, no caso com células a combustível, que não permite a adaptação da frota existente, leva muito tempo para promover mudanças importantes na qualidade do ar da

cidade de São Paulo. Mesmo considerando a introdução gradual destes veículos novos com a ação conjunta do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), percebeu-se que haveria ainda assim uma tendência de elevação na emissão dos gases poluentes antes de 2020 e que este aumento se devia principalmente à frota remanescente de veículos mais antigos, que leva muito tempo para ser substituída e que não apresenta nenhuma outra melhoria.

A proposta deste estudo continua sendo o estudo com os veículos leves com células a combustível, só que aqui o caso estudado é a emissão de CO₂, um dos principais gases que contribuem para o efeito estufa adicional (de origem antropogênica, ou seja, causado pelo homem), que por sua vez está ligado às mudanças climáticas. É importante lembrar que não existe no Brasil nenhuma legislação para o controle de emissão veicular deste gás.

1.1 Objetivo da Tese

O objetivo principal desta tese de doutorado foi quantificar as reduções das emissões de CO₂ na cidade de São Paulo (CSP) a partir da introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível (CaCs) a hidrogênio proveniente de fontes renováveis.

Para determinar estas reduções foram construídos para a CSP alguns cenários para a introdução de diferentes frotas de veículos novos com células a combustível. Estes cenários foram comparados com um cenário tendencial de veículos convencionais, tomando-se o ano de 2005 como base. Também foi considerada a hipótese de que o hidrogênio a ser utilizado pelos veículos em questão teve sua produção a partir de fontes renováveis de energia, a saber: energia hidráulica, energia fotovoltaica, energia eólica e biomassa (reforma de etanol).

Dessa forma como objetivos secundários buscou-se:

- a) Quantificar a frota de veículos leves na CSP em 2005 e estimar as emissões de CO₂ dessa frota;

- b) Aperfeiçoar as metodologias para a determinação quantitativa da evolução das frotas de veículos urbanos;
- c) Propor cenários e projetar a frota de veículos leves na CSP até o ano de 2025, bem como estimar suas respectivas emissões de CO₂;
- d) Quantificar as emissões de CO₂ para cada uma das fontes alternativas utilizadas para a produção de hidrogênio;
- e) Estimar o consumo de hidrogênio de diferentes frotas de veículos com CaCs e suas respectivas emissões de CO₂;
- f) Analisar as premissas que fundamentam um projeto de MDL;
- g) Quantificar os créditos de carbono a serem obtidos com a redução nas emissões de CO₂.

1.2 Escopo e Delimitações da Tese

O pano de fundo escolhido para a discussão aqui apresentada foi o modelo de desenvolvimento capitalista globalizado (Altvater, 1995), que privilegia o individual em detrimento do coletivo. A escolha da CSP para o estudo da introdução da frota de veículos CaCs vai ao encontro ao modelo aqui proposto, pois o crescimento econômico e populacional nesta cidade gerou alta demanda por mobilidade. Infelizmente o crescimento do principal setor responsável pela mobilidade, o transporte, continua se dando de maneira pouco sustentável, pois a preferência pelo uso do transporte individual em detrimento ao transporte coletivo só vem aumentando a desigualdade social na distribuição dos custos e benefícios deste setor (Gouveia, 2006) e também piorando a qualidade de vida na cidade devido ao aumento dos congestionamentos e das emissões de gases pelos escapamentos dos veículos.

É importante lembrar que existem várias outras alternativas para o problema aqui apresentado, como as melhorias do transporte coletivo, restrição de circulação, substituição do combustível entre outras, que infelizmente não atendem plenamente aos interesses deste modelo de desenvolvimento.

Substituir os veículos novos de combustão interna por veículos com CaCs tem sido uma das propostas consideradas pelos países desenvolvidos, pois tende a melhorar a qualidade de vida

urbana, através da redução dos impactos dos poluentes atmosféricos na saúde da população e no meio ambiente, garantindo um futuro melhor para as próximas gerações. Por outro lado permite reduzir o consumo de combustíveis de origem fóssil, diminuindo a dependência deste energético por parte dos países desenvolvidos, uma vez que o hidrogênio pode ser obtido através de fontes renováveis e também porque os veículos com CaCs podem apresentar maior eficiência energética que os veículos de combustão interna.

A troca da frota de veículos aqui proposta, baseada no modelo desenvolvido para a cidade de Los Angeles, nos Estados Unidos, que visa exclusivamente reduzir as emissões de poluentes locais, não se destina a resolver um dos problemas mais críticos da CSP, que são os congestionamentos, pois não ocorrerá a redução da frota de veículos.

O objeto deste trabalho é a frota de veículos leves, particulares, que representam para seus usuários economia de tempo, maior privacidade e conforto, além de serem vistos como um símbolo de *status* (Jacobi & Macedo, 2000; Aquino, Pereira & Lopes, 2000; Sachs, 2007). Deve-se observar que a alternativa aqui analisada não é excludente ou concorrente às políticas de uso do transporte de massas, mas sim complementar, podendo-se afirmar que os melhores resultados seriam alcançados através da aplicação simultânea destas duas medidas e outras mais.

Este trabalho tratará apenas das emissões originadas por veículos leves novos de combustão interna na CSP, a gasolina e a álcool, sendo que não serão objeto de estudo as emissões de CO₂ provenientes de veículos a gás natural, Diesel e motocicletas.

Com relação aos veículos com CaCs, considera-se que eles utilizarão como combustível hidrogênio gasoso, armazenado em tanques de alta pressão, como já ocorre nos veículos com gás natural. Com relação à produção de hidrogênio, serão estudadas quatro fontes renováveis, a saber: hidráulica, eólica, fotovoltaica e biomassa (reforma de etanol). Este estudo tem como objetivo quantificar o CO₂ emitido por cada uma destas fontes até a produção do hidrogênio (ciclo de vida do combustível), para depois se quantificar o quanto de fato se reduziu com a introdução da frota nova de veículos com CaCs na CSP. Este estudo não contemplará a

quantificação de CO₂ emitido anteriormente ao uso/aplicação dos combustíveis tradicionais (gasolina e álcool), como está sendo proposto para o hidrogênio.

Não serão discutidos neste trabalho os tipos de armazenamento de hidrogênio e a infraestrutura de distribuição e abastecimento necessários, que já foram objeto de outros estudos recentes (Ferreira, 2007). Também não serão objeto de estudos específicos as CaCs, seus processos de fabricação, materiais utilizados e custos.

Neste momento, também não será discutida a questão econômica relacionada à introdução desta frota de veículos. Também não serão levadas em conta, neste trabalho, as emissões de CO₂ referentes ao desenvolvimento dos veículos e nem das CaCs. O problema ficará restrito apenas a análise da quantidade de emissões de CO₂ automotivo devido ao uso de combustível e o quanto esta redução poderá representar em termos de créditos de carbono a serem recebidos.

1.3 – Organização da Tese

Esta tese está estruturada em sete capítulos. O Capítulo 1 faz a introdução do problema que se pretende analisar, indicando os procedimentos a serem adotados para seu estudo. Apresenta também os objetivos, o escopo com as delimitações do tema e a organização da tese.

O Capítulo 2 é a Revisão de Literatura, no qual são apresentados alguns conceitos importantes para o desenvolvimento deste trabalho. Para isto, é apresentado o conceito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), quais são suas premissas básicas para qualificar um projeto como sendo de MDL e também uma descrição dos principais projetos de MDL propostos para reduzir as emissões em veículos e obter-se os créditos de carbono. A seguir discute-se de forma sucinta os veículos com CaCs, o estado da arte destes veículos e as principais políticas adotadas para sua implantação. Também são apresentadas as emissões de CO₂ de cada fonte de energia renovável utilizada para a produção de hidrogênio, que por sua vez serão utilizadas como referências nos cálculos de CO₂ evitado pela frota de veículos com células a combustível. Por último são apresentados e analisados trabalhos semelhantes ao aqui proposto, que buscam reduzir as emissões de CO₂ de veículos leves.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho, tanto para quantificar as emissões de CO₂ geradas pelos veículos convencionais, quanto para quantificar as emissões evitadas pela introdução da nova frota. Também descreve os cenários propostos para a introdução dos veículos com CaCs na CSP.

O Capítulo 4 quantifica as emissões de CO₂ pelos veículos leves na CSP em 2005 e para a frota projetada em 2025, considerando 2 cenários para a evolução da frota.

O Capítulo 5 quantifica as emissões de CO₂ na CSP em 2025 para os cenários propostos. A seguir analisa as emissões de CO₂ geradas por cada uma das fontes de energia utilizada para a produção do hidrogênio destinado ao abastecimento da frota. Por último quantifica as emissões de CO₂ evitadas pela frota da CSP depois da introdução dos veículos com CaCs a hidrogênio.

O Capítulo 6 analisa os resultados obtidos com a introdução dos veículos novos com CaCs a hidrogênio na CSP. Também apresenta uma discussão sobre qual o potencial financeiro dos créditos de carbono a serem recebidos, quais os impactos destes créditos na introdução dos veículos com células a combustível e aborda o problema da titularidade destes créditos.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as conclusões e indica caminhos para futuros trabalhos, que complementarão a proposta aqui considerada.

Capítulo 2

Revisão de Literatura

Este capítulo se inicia com uma análise sobre o MDL, pois, como será visto, esse é atualmente o principal mecanismo para se viabilizar estratégias de redução de emissões de carbono. Para isto são apresentados os principais pontos para a elaboração de um projeto de MDL, o que é o mercado de carbono e qual o status dos projetos de MDL no mundo e no Brasil, com destaque para os projetos de MDL no setor de transporte. A seguir é realizado um estudo sobre os veículos com células a combustível: o estado da arte destes veículos e as principais políticas de apoio a esta tecnologia. O próximo item trata da produção do hidrogênio para uso veicular a partir de quatro fontes alternativas (hidráulica, eólica, solar fotovoltaica e biomassa - reforma de etanol), sendo feito um breve levantamento das emissões de CO₂ anteriores à produção do hidrogênio. Finalmente, é realizada uma revisão dos principais trabalhos que tiveram objetivos semelhantes aos aqui buscados.

2.1 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O MDL teve origem na proposta brasileira apresentada em maio de 1997, durante a terceira Conferência das Partes (COP 3). A proposta consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, que seria formado por meio de contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução. Os recursos deste fundo seriam utilizados para desenvolver projetos nos países em desenvolvimento. Esta proposta foi transformada, estabelecendo-se assim o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MCT, 2005b).

O MDL está definido no artigo 12 do Protocolo de Quioto, que ao estabelecer as metas a serem cumpridas pelos países envolvidos, os divide em Parte Anexo I ³(países desenvolvidos) e Parte Não Anexo I (países em desenvolvimento).

O artigo 12.2 define: “*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-se aos seus compromissos quantitativos de limitação e redução de emissões*”.

O artigo 12.3 afirma: “*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...*”.

O artigo 12 estabelece também os procedimentos e condições básicas a serem seguidos para qualificar projetos para gerar reduções certificadas de emissão.

A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ equivalente que não for emitida ou for retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando desta maneira um atrativo econômico para redução das emissões globais. Por sua vez, as empresas existentes nos países das Partes do Anexo I que não conseguirem ou não quiserem reduzir suas emissões poderão comprar Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) em países em desenvolvimento e usá-las para cumprirem suas obrigações (Rocha, 2004).

O MDL poderá ser aplicado pelo menos de três maneiras (Geller, 2003):

- projetos bilaterais em que investidores das Partes Anexo I participem diretamente de projetos de MDL;

³ Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Bulgária, Canadá, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Checa, Romênia, Suécia, Suíça.

- projetos multilaterais em que os investidores das Partes do Anexo I trabalhem por meio de um fundo centralizado de investimentos, que pode ser usado para o desenvolvimento de projetos;
- de forma unilateral em que o país hospedeiro (em desenvolvimento) patrocina projetos de MDL e comercializa os créditos de emissão resultantes.

O MDL deverá ser supervisionado por um Conselho Executivo (CE), enquanto que as reduções dos GEE ocasionadas pelos projetos deverão ser certificadas por entidades operacionais, a serem designadas pelas Conferências das Partes (COPs). Estas entidades é que fornecerão as garantias de que a mitigação dos GEE está trazendo benefícios mensuráveis, reais e de longo prazo, relacionados com a mudança do clima. Também devem garantir que essas reduções sejam realizadas de acordo com o princípio da adicionalidade.⁴ As entidades operacionais em cada país devem assegurar que a participação seja realizada de forma voluntária por cada parte envolvida. Por último, o projeto de MDL deverá garantir o desenvolvimento sustentável⁵ no país hospedeiro.

Os critérios apresentados acima constituem a base para a aprovação dos projetos (elegibilidade) (Pereira & May, 2003), sendo que eles são estabelecidos e determinados nas reuniões da UNFCCC, que aprovam as metodologias do projeto de MDL.

Existem basicamente duas modalidades de projetos de MDL consideradas elegíveis, perante as regras estabelecidas no Protocolo de Quioto:

⁴ “... as reduções devem ser adicionais àquelas que ocorreriam mesmo na ausência da atividade certificada do projeto”. Art. 12.5 (MCT, 2005b).

⁵ O conceito de desenvolvimento sustentável foi apresentado em 1987, no relatório **Nosso futuro comum** (*Our common future*), também conhecido como Relatório Brundtland: “*Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades*”.

O relatório define sete objetivos de caráter global que devem ser entendidos como metas (Cavalcanti, 2002): estimular o crescimento, modificar a qualidade do crescimento, satisfazer as necessidades básicas da população, limitar o crescimento populacional, preservar a biodiversidade e dos ecossistemas (recursos), re-orientar a tecnologia e gerenciamento do risco, incorporar o meio ambiente e a economia nos processos de decisão.

O relatório não apresentou as críticas à sociedade industrial que caracterizaram os documentos anteriores. Outro ponto é que ele permitiu o crescimento (econômico) tanto em países industrializados como em subdesenvolvidos, inclusive ligando a superação da pobreza nestes últimos ao crescimento contínuo dos primeiros. Conseqüentemente foi bem aceito pela comunidade internacional. Porém, sob o ponto de vista ecológico, apresentou várias falhas, sendo considerado mais um documento político do que um instrumento de política ambiental.

- A primeira refere-se a projetos de substituição de fontes de CO₂, que no caso do setor energético pode ser a substituição de combustíveis fósseis e/ou aumento de eficiência energética em matrizes poluidoras, ou seja, o uso de tecnologias e sistemas de geração de energia com menor potencial de emissão de GEE. Como exemplo pode-se citar a substituição do uso de óleo combustível por biomassa;

- A segunda modalidade refere-se às atividades que visem à remoção e estocagem de CO₂ atmosférico através de sumidouros, em atividades relacionadas ao uso da terra, também conhecidas como atividades de LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*). Nesta modalidade incluem-se os projetos de florestamento e reflorestamento.

Por outro lado existem os projetos considerados inelegíveis, que são os seguintes (Novaes, 2002):

- Conservação florestal e qualquer mudança no uso da terra e floresta que não seja florestamento e reflorestamento;

- Energia nuclear;

- Geração não sustentável de energia proveniente de recursos de biomassa;

- Centrais Hidrelétricas de capacidade instalada superior a 30 MW ou com reservatórios de dimensões superiores a 3,0 km². Excepcionalmente, serão considerados elegíveis os projetos de centrais hidrelétricas que apresentarem densidade de potência instalada igual ou superior a 10 W/m².

2.1.1 – Estrutura Institucional do MDL

As atividades relacionadas ao MDL, bem como as reduções de emissões de GEE e/ou aumento de remoção de CO₂ a estas atribuídas, deverão ser submetidas a um processo de aferição e verificação por meio de instituições e procedimentos estabelecidos na COP-7. Dentre as instituições relacionadas ao MDL destacam-se (Lopes, 2002):

Conselho Executivo - CE

Apesar de existirem críticas ao conceito de desenvolvimento sustentável, é indiscutível que o desenvolvimento e o meio ambiente não podem ser percebidos isoladamente. E que o tripé que garante este desenvolvimento: equidade social, equilíbrio ecológico e eficiência econômica, deve ser obedecido simultaneamente (Cavalcanti, 2002).

Supervisiona o funcionamento do MDL e tem como principais responsabilidades (Lopes, 2002):

- o credenciamento das Entidades Operacionais Designadas;
- registro das atividades de projeto do MDL;
- emissão das RCEs;
- desenvolvimento e operação do Registro do MDL;
- estabelecimento e aperfeiçoamento de metodologias para definição da linha de base, monitoramento e fugas.

Autoridade Nacional Designada - AND

Como o próprio nome diz, é uma entidade nomeada pelos governos dos países participantes de uma atividade de projeto do MDL, junto a CQNUMC. A AND atesta que a participação dos países é voluntária. Também atesta que as atividades de projeto implementadas deverão contribuir para o desenvolvimento sustentável do país. As atividades de projetos do MDL devem ser aprovadas pela AND (Lopes, 2002).

A AND no Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), estabelecida por Decreto Presidencial em 7 de julho de 1999. A CIMGC é presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e vice-presidida pelo Ministério do Meio Ambiente. É composta ainda por representantes dos Ministérios das Relações Exteriores; da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; dos Transportes; das Minas e Energia; do Planejamento, Orçamento e Gestão; do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e da Casa Civil da Presidência da República. A secretaria executiva da Comissão é desempenhada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (Lopes, 2002).

Entidades Operacionais Designadas -EOD

São entidades nacionais ou internacionais credenciadas pelo Conselho Executivo e designadas pela COP, as quais ratificarão ou não o credenciamento feito pelo Conselho Executivo. As responsabilidades das EODs consistem em (Lopes, 2002):

- Validar atividades de projetos do MDL de acordo com as decisões do Acordo de Marraqueche⁶;

- Verificar e certificar reduções de emissões de gases de efeito estufa e remoções de CO₂;

- Manter uma lista pública de atividades de projetos do MDL;

- Enviar um relatório anual ao CE;

- Manter disponíveis para o público as informações sobre as atividades de projeto do MDL, que não sejam consideradas confidenciais pelos participantes do projeto. Os dados confidenciais refletiriam valores contábeis geralmente ou de produção⁷.

2.1.2 – Etapas para o projeto de MDL

Para que resultem em RCEs, as atividades de projeto do MDL devem, necessariamente, passar pelas etapas do Ciclo do Projeto. Estas etapas, mostradas na Figura 2.1, são descritas sucintamente a seguir (Lopes, 2002).

I - Elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP)

Além da descrição das atividades de projeto e dos respectivos participantes, o DCP deverá incluir a descrição da metodologia da linha de base e das metodologias para cálculo da redução de emissões de GEE para o estabelecimento dos limites das atividades de projeto e para o cálculo das fugas. Deve, ainda, conter a definição do período de obtenção de créditos, um plano de monitoramento, a justificativa para adicionalidade da atividade de projeto, relatório de impactos ambientais, comentários dos atores e informações quanto à utilização de fontes adicionais de financiamento. As atividades descritas a seguir deverão ser executadas pelos participantes do projeto.

⁶ Acordo no qual foram estabelecidas as regras operacionais necessárias à ratificação do Protocolo e também as decisões referentes aos mecanismos de flexibilização, inclusive, determinando o início imediato dos projetos de MDL.

⁷ PRADO, Marcos. **Sobre titularidade de créditos de CO₂**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por paulaart@aquagenesis.org.br em 10 de janeiro de 2008.

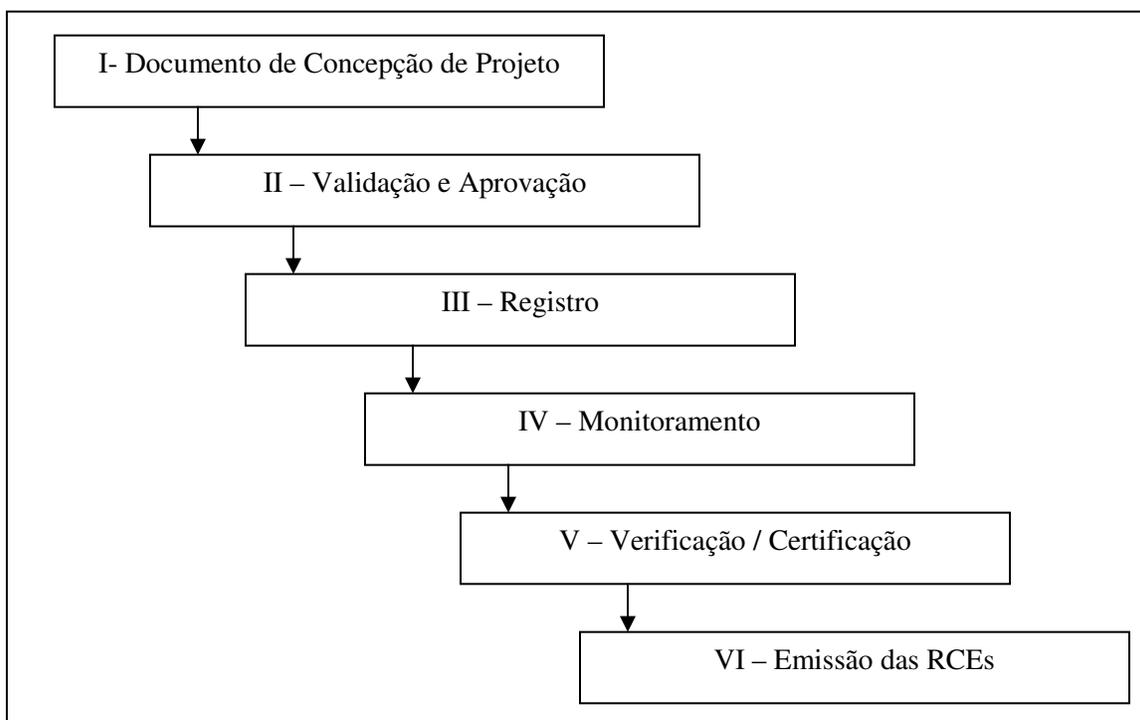


Figura 2.1 – Etapas do Ciclo de Projeto de MDL.

Fonte: Lopes, 2002.

Metodologia da linha de base das atividades de projeto do MDL

A linha de base (*baseline*) de uma atividade de projeto do MDL é o cenário que representa as emissões antrópicas de GEE por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes listadas no Anexo A do Protocolo de Quioto que ocorram dentro do limite do projeto. As reduções certificadas de emissões serão calculadas justamente pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões verificadas em decorrência das atividades de projeto do MDL, incluindo as fugas. A linha de base é qualificada e quantificada com base em um Cenário de Referência. Para estabelecer a linha de base de atividade de projeto do MDL, os participantes devem adotar, entre as abordagens metodológicas abaixo listadas, a que for considerada mais apropriada para a atividade de projeto, levando em conta qualquer orientação do Conselho Executivo, e justificar a adequação de sua escolha:

- emissões *status quo*: emissões atuais ou históricas existentes;

- condições de mercado: emissões de uma tecnologia reconhecida e economicamente atrativa, levando em conta as barreiras para o investimento;

- melhor tecnologia disponível: a média das emissões de atividades de projeto similares realizadas nos cinco anos anteriores à elaboração do documento de projeto, em circunstâncias sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas similares, e cujo desempenho esteja entre os primeiros 20% de sua categoria.

Outras abordagens metodológicas poderão ser propostas, porém, dependerão da aprovação pelo CE.

Metodologia de cálculo

Para avaliar as emissões relativas às atividades de projeto do MDL, a metodologia de cálculo deve conter:

a - descrição das fórmulas utilizadas para calcular e estimar as emissões antrópicas de gases de efeito estufa da atividade de projeto do MDL, por fontes, dentro do limite do projeto; e, descrição das fórmulas utilizadas para calcular e projetar as fugas.

b - descrição das fórmulas utilizadas para calcular e projetar as emissões antrópicas de GEE da linha de base por fontes; e, descrição das fórmulas utilizadas para calcular e projetar as fugas. O resultado desses cálculos representa as emissões da linha de base.

A diferença entre os resultados obtidos através dos cálculos de (a) e (b) representa as reduções de emissões das atividades de projeto do MDL.

Limite do projeto

O limite do projeto (*Project boundary*) abrange todas as emissões de gases de efeito estufa, sob controle dos participantes das atividades de projeto, que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, a essas atividades.

Fuga

A fuga (*Leakage*) corresponde ao aumento de emissões de gases de efeito estufa que ocorra fora do limite da atividade de projeto do MDL e que, ao mesmo tempo, seja mensurável e atribuível à atividade de projeto.

Definição do período de obtenção de créditos

O período de obtenção de créditos pode ter duração:

- de 7 anos, com no máximo duas renovações, totalizando três períodos de 7 anos;
- ou de 10 anos, sem renovação.

Plano de monitoramento

O plano de monitoramento inclui a forma de coleta e armazenamento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões de gases de efeito estufa, de acordo com a metodologia de linha de base estabelecida no DCP, que tenham ocorrido dentro dos limites do projeto ou fora desses limites, desde que sejam atribuíveis à atividade de projeto e dentro do período de obtenção de créditos. Este plano geralmente é desenvolvido pela empresa que detêm o projeto de MDL.

Justificativa para adicionalidade da atividade de projeto

A justificativa para adicionalidade do projeto é a demonstração de como as atividades de projeto reduzem emissões de gases de efeito estufa, além do que ocorreria na ausência da atividade de projeto do MDL registrada.

Documento e referências sobre impactos ambientais

Refere-se à documentação e às referências sobre os impactos causados pelas atividades de projetos considerados significativos pelos participantes da atividade de projeto, incluindo um relatório de impacto ambiental e o termo de referência da avaliação de impacto ambiental. Este documento pode ser realizado tanto pela empresa que detêm o projeto, assim como esta empresa pode contratar uma empresa de consultoria para realizá-lo.

Resumo dos comentários dos atores

Inclui o resumo dos comentários recebidos e um relatório de como os comentários foram levados em consideração nas atividades do projeto do MDL.

Informações sobre fontes adicionais de financiamento

São informações sobre as fontes de financiamento públicas destinadas às atividades do projeto, evidenciando que o financiamento não resultou de desvio de Assistência Oficial ao Desenvolvimento – AOD e que é distinto e não é contado como parte das obrigações financeiras das Partes Anexo I que participam da atividade de projeto.

II – Validação e Aprovação

Com base no DCP, a EOD irá avaliar e validar a atividade de projeto do MDL proposto, checando se os seguintes pontos foram incluídos e considerados no DCP (Lopes, 2002):

- se a atividade de projeto do MDL é voluntária e foi aprovada pelo país onde são implementadas as atividades de projeto;
- se a atividade de projeto do MDL atende aos critérios de elegibilidade;
- se há, de fato, uma redução adicional nas emissões de gases de efeito estufa;
- se os comentários dos atores envolvidos foram incluídos e de alguma forma considerados;
- se a análise de impacto ambiental foi realizada segundo a legislação ambiental nacional, se for o caso;
- se as emissões de gases de efeito estufa fora dos limites da atividade de projeto, porém atribuíveis a ela, ou seja, a fuga, foram consideradas;
- se a nova metodologia para a linha de base proposta – se for esse o caso – está de acordo com as modalidades e procedimentos para a proposição de novas metodologias;
- Se o período de obtenção dos créditos foi definido.

A EOD, antes de submeter o DCP ao CE, deverá ter recebido de cada participante da atividade de projeto uma aprovação formal das respectivas ANDs quanto à participação voluntária. No caso do país onde são implementadas as atividades de projeto, deve ter recebido a

confirmação de que a atividade de projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país. Essa confirmação deverá ser disponibilizada ao público e aberta para comentários.

III - Registro

O CE irá aceitar, formalmente, a atividade de projeto do MDL com base no relatório de validação da EOD. Esse processo é chamado de registro e se completa em até oito semanas após o referido relatório ter sido entregue ao CE. O CE poderá solicitar uma revisão do relatório de validação caso requisitos estabelecidos não tenham sido atendidos e, nesse caso, deverá comunicar a decisão à EOD e aos participantes da atividade de projeto e torná-la pública. Uma atividade de projeto não aceita poderá ser reconsiderada após uma revisão de acordo com os itens necessários para a validação. O registro é uma etapa necessária e anterior à verificação/certificação e emissão das RCEs. As RCEs só devem ser emitidas para um período de obtenção de créditos com início após a data de registro de uma atividade de projeto do MDL (Lopes, 2002).

IV - Monitoramento

O método de monitoramento deverá estar de acordo com uma metodologia previamente aprovada ou, se utilizada nova metodologia, deverá ser aprovada ou sua aplicação ter se mostrado bem-sucedida em algum outro lugar.

A implementação do plano de monitoramento cabe aos participantes do projeto e quaisquer revisões no plano de monitoramento devem ser justificadas e submetidas novamente para validação. A implementação do plano de monitoramento registrado é uma condição para a verificação/certificação e emissão das RCEs e, portanto, deverá ser submetida previamente à EOD de forma a passar para a quinta etapa, verificação/certificação (Lopes, 2002).

V- Verificação / Certificação

A EOD verificará se as reduções de emissões de gases de efeito estufa monitoradas ocorreram como resultado da atividade de projeto do MDL (Lopes, 2004). A EOD deverá relatar por escrito, ou seja, deverá certificar que a atividade de projeto atingiu de fato as reduções de emissões declaradas no período. A certificação formal será baseada no relatório de verificação e

será considerada definitiva 15 dias após ter sido recebida pelo CE. Esta certificação garante que as reduções de emissões de GEE foram de fato adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade de projeto. A declaração da certificação é enviada aos participantes da atividade de projeto, às Partes envolvidas e ao CE e, posteriormente, tornada pública. A EOD irá:

- verificar as metodologias utilizadas;
- assegurar que a metodologia e documentação estão completas e, se necessário, recomendar correções;
- determinar as reduções de emissões de gases de efeito estufa;
- informar aos participantes das atividades de projeto quaisquer modificações necessárias;
- providenciar o relatório de verificação para os participantes da atividade de projeto.

A EOD deverá ainda:

- fazer inspeções de campo;
- entrevistar os participantes do projeto e os atores locais;
- coletar dados e medições;
- observar práticas estabelecidas;
- testar a acurácia do equipamento de monitoramento (Lopes, 2002).

VI – Emissão das RCEs

O relatório de certificação incluirá solicitação para que o CE emita um montante de RCEs correspondente ao total de emissões reduzidas obtidas pela atividade de projeto do MDL. A emissão ocorrerá 15 dias após o recebimento da solicitação, a menos que uma das Partes envolvidas na atividade de projeto ou pelo menos três membros do CE requisitem a revisão da emissão das RCEs. Essa revisão deve limitar-se a questões de fraude, mau procedimento ou de incompetência da EOD. Nesse caso, o CE deverá finalizar, em 30 dias, a revisão. O administrador do Registro do MDL, subordinado ao CE, deposita as RCEs certificadas nas contas abertas nesse mesmo Registro, de acordo com o solicitado no DCP, em nome das devidas Partes, bem como dos participantes das atividades de projeto do MDL, já deduzida parcela equivalente a 2% do total das RCEs, que será integralizada em um fundo de adaptação, destinado a ajudar os países mais vulneráveis a se adaptarem aos efeitos adversos da mudança do clima. Outra parcela,

determinada pela COP, por recomendação do CE, será utilizada para cobrir despesas administrativas do MDL (Lopes, 2002).

2.1.3 Mercado de Créditos de Carbono do Protocolo de Quioto

Tomando como base os custos econômicos da mitigação para os países desenvolvidos, e fundamentando-se na teoria econômica das externalidades, o Protocolo de Quioto instaurou os mecanismos de flexibilização e, com eles, a possibilidade de transações internacionais das reduções oriundas desses mecanismos. O comércio internacional de emissões está previsto no artigo 17 do Protocolo de Quioto.

As transações das emissões evitadas de carbono são definidas por Capoor & Ambrosi (2007) como contratos de compra, onde uma parte paga à outra em troca de uma dada quantidade de emissões evitadas de GEE, que será utilizada pelo comprador para cumprir suas metas de reduções. Segundo eles, as transações podem ser agrupadas em duas categorias:

- Transações baseadas em permissões (*allowances*), em que o comprador adquire permissões de emissões criadas e alocadas (ou leiloadas) pelas agências reguladoras de regimes de cotas (*cap-and-trade*), tais como *Assigned Amount Units* (AAUs) derivadas do mecanismo de Comércio de Emissões sob o Protocolo de Quioto, ou permissões como o *EU Allowances* (EUAs) de regimes regionais e nacionais, tais como o *European Union Emissions Trading Scheme* (EU ETS).

- Transações baseadas em projetos (IC e MDL) onde o comprador adquire reduções de emissões de um projeto que produz reduções mensuráveis de GEE adicionalmente ao que ocorreria no cenário de linha de base (caso o projeto não ocorresse). Algumas destas transações são realizadas para cumprir metas voluntárias, mas a maioria delas são executadas para cumprir com as metas do Protocolo de Quioto ou outros regimes regulatórios.

As reduções de emissões geram dois tipos de certificados, um para o MDL, Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) e outro para o IC, Unidades de Redução de Emissões (UREs).

Elas podem ser utilizadas para o cumprimento das metas do Protocolo de Quioto, junto com os AAUs que são gerados através do Comércio de Emissões.

Segundo Conejero (2006) os dois mercados são intercambiáveis, pois não existe diferença em termos de qualidade entre permissões e créditos baseados em projetos, uma vez que o último já foi emitido pelo CE do MDL. Porém, o maior problema com as transações baseadas em projetos é que elas são realizadas antes mesmo dos créditos de carbono terem sido emitidos pelo CE. Desta forma, tanto as RECs como as UREs envolvem mais riscos do que a compra de permissões de emissões.

Capoor & Ambrosi (2007) declaram que os mercados de carbono são uma resposta para as mudanças climáticas e têm a oportunidade de demonstrarem que são críveis e uma importante ferramenta para as mitigações das mudanças do clima. A Tabela 2.1 apresenta para os anos de 2005 e 2006 os volumes e valores de CO₂e⁸ transacionados nos principais mercados.

Como já foi visto as metas de redução de emissões previstas para o Protocolo de Quioto deverão ser cumpridas dentro do primeiro período de compromisso de 2008 a 2012. O cumprimento das metas será aferido por meio de inventários nacionais anuais que os países terão que submeter aos órgãos internacionais criados pela CQNUMC e pelo Protocolo de Quioto. Não somente os países, enquanto estados soberanos, podem participar do mercado de emissões de Quioto, mas também empresas emissoras, especuladores e quaisquer entidades interessadas em adquirir certificados (Cunha, 2005).

Dado o seu caráter internacional, o mercado de emissões de GEE apresenta características peculiares, que começam pela estrutura de administração de seu funcionamento. Os órgãos criados pela CQNUMC e pelo Protocolo de Quioto têm a atribuição de coordenar o funcionamento do mercado no âmbito internacional, principalmente por meio da elaboração de normas e regulamentos.

⁸ CO₂e: CO₂ equivalente é a soma de todos os GEE de acordo com o potencial de aquecimento global de cada gás. Este índice estipula a contribuição relativa devido à emissão, na atmosfera, de 1 kg de um determinado gás estufa, comparado com a emissão de 1kg de CO₂.

Tabela 2.1 – Movimentação do Mercado de Carbono nos anos de 2005 e 2006.

	2005		2006	
	Volume de CO ₂ e (10 ⁶ t)	Valor (milhões de US\$)	Volume de CO ₂ e (10 ⁶ t)	Valor (milhões de US\$)
Permissões				
<i>European Union Emission Trading Scheme</i>	321	7.908	1.101	24.357
<i>New South Wales</i>	6	59	20	225
<i>Chicago Climate Exchange</i>	1	3	10	38
<i>UK Emission Scheme</i>	0	1	nd	nd
<i>Sub Total</i>	328	7.971	1.131	24.620
Transações Baseadas em Projetos				
MDL Primário	341	2.417	450	4.813
MDL Secundário	10	221	25	444
Implementação Conjunta	11	68	16	141
Outras obrigações	20	187	17	79
<i>Sub Total</i>	382	2.894	508	5.477
Total	710	10.864	1.639	30.098

Mercado Primário: negocia RCEs que ainda não foram emitidas.

Mercado Secundário: negocia RCEs emitidas.

Fonte: Capoor & Ambrosi (2007).

Dessa forma, a definição do *modus operandi* do mercado, das metodologias de aferição das reduções (análise da linha de base), a aprovação das entidades certificadoras e a avaliação dos inventários nacionais apresentados, entre outros, caberá a órgãos como o CE e as COPs (Cunha, 2005). Atualmente os principais compradores no mercado *compliance* são (Capoor & Ambrosi, 2007):

- Compradores privados europeus interessados na EU ETS;
- Compradores do governo interessados no mercado *compliance* Quioto;
- Companhias japonesas com compromissos voluntários sob a ação do voluntário de *Keidanren Voluntary Action Plan*;
- Multinacionais americanas operando no Japão e na Europa ou que estejam se preparando para o *Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)* no *Northeastern U. S. States*, ou para a *Califórnia Assembly Bill 32*, que estabelece um limite de emissões para todo o estado;

- varejistas do setor de energia e grandes consumidores regulados pelo mercado *New South Wales* (NSW) na Austrália;

- e companhias norte-americanas no mercado voluntário, mas legalmente reguladas com objetivos do mercado *compliance* dentro do *Chicago Climate Exchange* (CCX).

Há igualmente um segmento de varejo crescente no mercado de carbono que vende reduções de emissão a indivíduos e companhias que procuram reduzir suas próprias emissões de carbono. Relatórios demonstram o crescente interesse dos bancos, dos fornecedores de cartão de crédito, dos fundos privados e outros segmentos, sugerindo que poderá ocorrer um crescimento exponencial deste mercado (Capoor & Ambrosi, 2007).

A regulação internacional do mercado, porém, não exclui a cooperação dos países, nos respectivos âmbitos de atuação nacional, já que a estes é dada a incumbência de adequar seus sistemas jurídicos, bem como criar condições favoráveis às transações dos certificados. Ademais, não se pode perder de vista que o mercado de emissões de GEE foi criado como um instrumento complementar às ações internas dos países para que consigam atingir suas metas de redução, sendo, portanto, de uso voluntário (Cunha, 2005).

Alguns países, estados e até grupos de empresas, nas suas respectivas esferas de atuação, têm criado regimes paralelos e/ou complementares de comércio de carbono, chamados de *non-compliance* Quioto⁹. Tratam-se de mercados nacionais e regionais de emissões de carbono criados no intuito de auxiliar os países a atingirem suas metas de redução, previstas no Protocolo de Quioto e também como soluções alternativas para combater o aquecimento global. Do mesmo modo, para os países que se recusam a ratificar o Protocolo, a opção por tais mecanismos de mercado revela-se o caminho mais usado (Cunha, 2005). Neste contexto, são citadas as principais iniciativas:

European Union Emission Trading Scheme (EU ETS). A EU ETS foi lançada em primeiro de janeiro de 2005 como uma pedra angular na política do clima da União Européia (UE) para

⁹ O termo “*non-compliance* Kyoto” refere-se aos regimes de comércio de carbono que estão fora do quadro regulatório do sistema jurídico instituído pela CQNUMC. Não obstante isso, alguns desses regimes têm procurado moldar-se a esse sistema, seguindo as mesmas regras

atender o seu compromisso e poder ir além. Em sua primeira fase, de 2005 a 2007, a EU ETS regulou emissões de CO₂ em instalações intensivas no uso de energia, que representam 40% do total das emissões na UE. Estas emissões foram equivalentes a 6.600 MtCO₂ no período que vai de 2005 a 2007 (Capoor & Ambrosi, 2007). A Fase II da EU ETS (que se estenderá de 2008 a 2012) deverá ser mais restrita nas instalações com obrigações, dado que as decisões referendadas pelas 19 NAPs¹⁰ fixaram como limite médio anual 5,8% abaixo das emissões verificadas em 2005 (Capoor & Ambrosi, 2007). Para cumprir as exigências de redução, as instalações podem usar EUAs, CERs e UREs (o último somente para a fase II). Regras suplementares restringem o uso de CERs e de UREs na fase II, a níveis diferentes para cada Estado-Membro.

New South Wales Greenhouse Gas Abatement Scheme (NSW). O estado australiano de *New South Wales* tem em operação desde 1º de janeiro de 2003 (deve ir até 2012) o programa chamado *NSW Greenhouse Gas Abatement Scheme*, que tem por objetivo reduzir as emissões de GEE do setor de energia. Os varejistas e os grandes clientes de eletricidade do NSW e os do Território da Capital Australiana (incluídos no programa desde 1º de janeiro de 2005), têm que obedecer a objetivos obrigatórios de redução ou compensação das emissões de GEE, que são gerados na produção de eletricidade que eles fornecem ou usam. Eles podem atender estes objetivos comprando certificados (*NSW Greenhouse Abatement Certificates* ou NGACs¹¹) que são gerados através de atividades de projeto (Capoor & Ambrosi, 2007).

Bolsa do Clima de Chicago (CCX). A CCX foi fundada em dezembro de 2003 por 14 empresas dos EUA. Juntas, estas empresas são responsáveis por metade da emissão anual do Reino Unido (Carbono Brasil, 2007). Na primeira fase, até 2006, a CCX apenas organizou a comercialização de redução de emissões de gases do efeito estufa nos Estados Unidos, México, Canadá, e de um primeiro projeto de compensação brasileiro – da Indústria de Papel e Celulose Klabin. A CCX é uma plataforma auto reguladora, designada e governada por seus membros, que

¹⁰ Plano nacional de distribuição: são documentos estabelecidos para cada Estado Membro e revisados pela Comissão. Eles determinam a lista de instalações sob a orientação do EU ETS, os limites de emissões absolutos de cada instalação e a quantidade de CERs e ERUs que podem ser utilizados por elas.

¹¹ NGACs podem ser gerados pelas seguintes atividades baixa-emissão na geração de eletricidade através de melhor eficiência do gerador, atividades que resultam em consumo reduzido de eletricidade ou geração local de eletricidade e seqüestro de carbono através de biomassa.

estabelece as regras deste mercado, define linhas de base, estabelece o foco de emissões (além de monitorar as emissões), define quais créditos são elegíveis e desenvolve leilões (Carbono Brasil, 2007).

UK Emission Trading Scheme (UK ETS). Lançado em março de 2002, o UK ETS foi o primeiro esquema doméstico de comércio de GEE em larga escala. A participação foi definida na base voluntária e foram acertados os incentivos (redução de 80% para alguns participantes da *Climate Change Levy*, sob orientação do *Climate Change Agreement* ou CCA), as penalidades (retenção de abatimento fiscal, compras de permissões) e as flexibilidades (através de trocas). Só podem ser comercializados os créditos aceitos pelo UK ETS. Em geral, o esquema de redução é acertado próximo de sua duração (2002-2006) para reduzir emissões de CO₂e de 11,9 milhões de toneladas dos participantes diretos. O registro de UK ETS permanecerá aberto para os participantes do CCA comercializarem no mercado voluntário para atender suas metas (Capoor & Ambrosi, 2007).

2.1.4 Status dos projetos de MDL

Os dados disponibilizados pelo *United Nations Framework Convention on Climate Change*¹² (UNFCCC, 2007) indicam um total de mais de 2.100 atividades de projeto encaminhadas para aprovação até outubro/2007. Deste total apenas 813 foram registradas e 46 aguardam aprovação para registro (UNFCCC, 2007). O Brasil ocupa o 3º lugar em número de atividades de projeto registradas, com 108 projetos (13,28%), sendo que em primeiro lugar encontra-se a Índia com 283 e, em segundo, a China com 121 projetos (UNFCCC, 2007).

¹² Os dados apresentados na página na Internet do UNFFC não são os mesmos disponibilizados pelo MCT no Brasil para o mesmo período. Neste caso foram utilizados os dados do UNFCC por ser esta entidade a responsável pelo registro dos projetos de MDL.

Quanto à expectativa de reduções de emissões para os projetos já registrados, o Brasil também ocupa a terceira posição, sendo responsável pela redução de 17,1 milhões de toneladas de CO₂e (10,14% do total mundial) para o primeiro período de obtenção de créditos (UNFCCC, 2007). Já a China ocupa o primeiro lugar, com 75,8 milhões de toneladas (44,88%) reduzidas, seguida pela Índia com 27,4 milhões de toneladas (16,24%) (UNFCCC, 2007).

Com relação ao tipo de atividade de projeto, dentre os projetos registrados destacam-se: as indústrias energéticas, com 560 projetos; e a manipulação e disposição de resíduos, com 221 projetos. A atividade de transporte tem apenas um projeto aprovado. Já as atividades de florestamento e reflorestamento tiveram o primeiro projeto aprovado em 2007 (UNFCCC, 2007).

Até outubro de 2007, 196 atividades de projetos brasileiros haviam sido encaminhadas à CIMGC. Segundo os dados do MCT (2007) 163 atividades foram aprovadas, 10 foram aprovadas com ressalvas, 15 estão em revisão e 8 serão submetidas na próxima reunião da CIMGC.

As atividades de projeto são consideradas submetidas somente após a verificação, pela Secretaria Executiva, de que todos os documentos referentes a essas atividades de projeto, exigidos em conformidade com as resoluções da CIMGC, tenham sido devidamente entregues e, assim, essa documentação será tornada pública em meio eletrônico na página do MCT. As atividades de projeto cuja contribuição para o desenvolvimento sustentável for considerada adequada, mas que apresentem erros de edição ou quaisquer incongruências consideradas de menor relevância pelos membros da Comissão, serão consideradas aprovadas com ressalva. Já as atividades que necessitem de esclarecimentos quanto à descrição da contribuição para o desenvolvimento sustentável ou que apresentem erros de edição ou quaisquer incongruências que os membros da Comissão considerem relevantes, serão consideradas em revisão. Com relação ao CE, existem 128 projetos brasileiros encaminhados. Destes, 108 já foram registrados, enquanto 22 entraram com o pedido de registro.

No Brasil nota-se que os projetos contemplam principalmente reduções de CO₂, seguido pelas reduções de CH₄ e N₂O, respectivamente (MCT, 2007). A maior parte das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil está no setor energético como pode ser visto na Tabela 2.2, o que

explica a predominância do CO₂ na balança de reduções de emissões brasileiras. No Brasil também predominam as metodologias de larga escala (58%) em detrimento das de pequena escala (42%) (MCT, 2007).

Tabela 2.2 – Distribuição das atividades de projeto de MDL no Brasil por tipo de atividade.

Projetos em validação/aprovação	Número de projetos	Redução anual de emissão (10 ³)	Redução de emissão no primeiro período de crédito (10 ³)
Geração elétrica	152 (62%)	14.468 (44%)	109.741 (43%)
Suínocultura	38 (16%)	1.964 (6%)	19.152 (6%)
Aterro sanitário	27 (11%)	8.753 (26%)	65.796 (26%)
Indústria manufatureira	11 (4%)	1.853 (5%)	14.119 (6%)
Eficiência energética	10 (4%)	68 (0%)	548 (0%)
Manejo e tratamento de resíduo (outros)	2 (1%)	82 (0%)	570 (0%)
N ₂ O	3 (1%)	6.205 (18%)	43.439 (17%)
Indústria química	1 (0%)	17 (0%)	119 (0%)
Produção de metal	1 (0%)	80 (0%)	802 (0%)
Total*	245	33.893	254.296

* Refere-se aos projetos que foram encaminhados para a avaliação da ADN brasileira.

Fonte: MCT, 2007.

Com relação à distribuição por estado das atividades de projeto no âmbito do MDL, a região Sudeste predomina em número de projetos devido à posição dos Estados de São Paulo e de Minas Gerais, com 25% e 14% respectivamente. Nas demais regiões se sobressaem os Estados de Mato Grosso e Rio Grande do Sul, com 9% (MCT, 2007).

As análises a seguir foram realizadas por Cunha, Walter & Rei (2006), que estudaram os dados disponíveis sobre os projetos de MDL em desenvolvimento no Brasil para o ano de 2006. O que se percebe é que, passado um ano, não ocorreram mudanças significativas no status dos projetos de MDL brasileiro, sendo por isto que as análises realizadas por Cunha, Walter & Rei permanecem válidas. Esses autores chamaram a atenção para os seguintes pontos:

- prevalência dos projetos do setor de energia e inexistência de projetos de reflorestamento;
- entre os projetos do setor energético, a predominância de projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como biomassa e hidroeletricidade e a quase ausência de projetos que contemplassem a eficiência energética;

- desigualdade na distribuição dos projetos pelas regiões do país e entre os estados;
- predomínio dos projetos unilaterais.

Cunha, Walter & Rei (2006) consideram que estes fatos devem ser analisados tanto no âmbito do mercado internacional de carbono quanto do nacional. Neste caso as RCEs oriundas de projetos de MDL concorrem no mercado internacional com os outros mecanismos de flexibilização (Implementação Conjunta e Comércio de Emissões). Em decorrência disto o potencial do MDL se torna relativo, principalmente se forem considerados os riscos, os custos de transação e a inserção dos hot air¹³, o que leva a um excesso de oferta de reduções no mercado, a um maior poder de barganha dos compradores e aos baixos preços das RCEs. Tudo isto faz com que os fornecedores de RCEs coloquem no mercado projetos que obtenham maiores quantidades de redução de emissão com os menores custos e riscos.

Esse fato explica, de certo modo, o predomínio de projetos de geração de energia elétrica para a rede de transmissão ou distribuição a partir de biomassa (notadamente o bagaço de cana) e projetos oriundos da gestão de aterros sanitários (Cunha, Walter & Rei, 2006). Nos projetos de geração de energia por biomassa, as empresas participantes (usinas de álcool e açúcar de São Paulo) já possuem o *know-how* das tecnologias aplicadas, tradicionalmente já contam com sistemas de cogeração, e, em muitos casos, os benefícios oriundos da venda das RCEs não são considerados a principal fonte de receita, mas apenas complementação do fluxo de caixa. No caso dos projetos de aterros sanitários, os proponentes contam com uma grande quantidade de reduções de emissões obtidas a custos relativamente baixos. Para estes dois casos os riscos – principalmente financeiros e tecnológicos – são muito pequenos (Cunha, Walter & Rei, 2006).

Contrariamente, os projetos de MDL situados em regiões afastadas e que oferecem pequenas quantidades de redução de emissão de GEE enfrentam uma série de barreiras econômicas (custo das tecnologias), geográficas (distância dos centros de consumo, predomínio de barreiras naturais, como a floresta, etc.), culturais, entre outras (Cunha, Walter & Rei, 2006).

¹³ *Hot air* é um saldo positivo de créditos devido à retração econômica e à diminuição das atividades industriais, de alguns países do Leste Europeu e ex-República Soviética, ocasionando uma ligeira redução nos volumes de emissões. O *hot air* pode se comercializado através do mecanismo de flexibilização de Comércio de Emissões.

Para os autores citados, entre as principais dificuldades enfrentadas pelos projetos de MDL do setor florestal estão: a restrição imposta na COP 3 e corroborada nos Acordos de Marraqueche; a pouca aceitação no mercado internacional de RCEs oriundas de LULUCF; as incertezas e dificuldades técnicas e científicas na elaboração das metodologias de linha de base e a maior complexidade inerente a tais atividades.

No caso da prevalência de projetos na Região Sudeste, particularmente no Estado de São Paulo, é resultado tanto do tipo de atividade predominante nessas regiões, como do perfil do empresariado local (Cunha, Walter & Rei, 2006).

Já a prevalência de projetos unilaterais corrobora alguns fatos gerais sobre o MDL (Cunha, Walter & Rei, 2006): o primeiro, de que, em geral, os projetos de MDL, para se viabilizarem, dependem dos proponentes terem recursos econômicos aptos a cobrir os custos de implementação, já que o retorno da venda das RCEs aos países pertencentes ao Anexo I vem em fases tardias do processo de certificação, mais na forma de pagamento pelas RCEs do que de investimento. O segundo fato demonstra que, no Brasil, os proponentes dos projetos caracterizam-se por terem o perfil de empresas que possuem o capital inicial necessário (Cunha, Walter & Rei, 2006).

2.1.5 Projetos e Metodologias de MDL para o setor de transporte no mundo

O setor de transporte é um forte candidato para o desenvolvimento de projetos de MDL, pois atualmente depende quase que exclusivamente dos derivados de petróleo como fonte de energia primária (*World Business Council for Sustainable Development – WBCSD, 2007*). Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007) demonstraram que em 2005 este setor consumiu 60,3% do petróleo produzido e foi responsável por 40% das emissões de CO₂ no mundo.

Dentre as possíveis propostas de atividades de projeto para este setor pode-se listar (Cortez Ferreira, 2007):

- substituição dos veículos tradicionais por veículos “*zero emission*”;
- substituição dos combustíveis tradicionais por biocombustíveis;
- melhoria da eficiência energética dos veículos;
- substituição do modal;
- racionalização.

No entanto, o que se percebe é que por se tratar de uma fonte de emissão móvel, o setor de transporte acaba apresentando uma série de dificuldades para a verificação e monitoramento das emissões de CO₂. Tanto é verdade que atualmente só existe **um projeto registrado** neste setor.

O projeto em questão é o *Bus Rapid Transit Project* de Bogotá, na Colômbia. Este projeto, também é chamado TransMilenio, tem como objetivo estabelecer um moderno sistema de transporte de massa urbano que seja eficiente, seguro, rápido, conveniente e confortável, através da utilização de vias exclusivas, planejadas para comportar veículos de alta capacidade de transporte de passageiros com fluxo monitorado. Desta forma espera-se que o público fique motivado a utilizar o transporte público em detrimento do transporte individual (carros e táxis). Este projeto foi aprovado em 26 de julho de 2006, a metodologia é AM0031, baseada na NM0105 REV. Espera-se uma redução de emissões de CO₂e de aproximadamente 246 mil t/ano.

Apesar de só haver um projeto registrado, já foram aprovadas mais duas metodologias o que, entretanto, não garante que um projeto desenvolvido a partir destas metodologias seja registrado. As metodologias são (Cortez Ferreira, 2007):

- AM0047- *Production of waste cooking oil based Biodiesel for use as fuel*. Aprovada em 16 de fevereiro de 2007, é baseada na NM0180, *Biolum Biodiesel Beijing*, que propõe a utilização de Biodiesel B20 na frota cativa municipal. A estimativa é que aproximadamente 123 mil t/ano de CO₂e sejam evitadas. Contudo o projeto ainda não foi registrado.

- AMS-III-C – *Emission reductions by low-greenhouse gas emitting vehicles*. Trata-se de uma metodologia para projetos de pequena escala. Estes projetos encontram-se em processo de validação. São eles:

- Hindustan Lever, Índia – substituição do modal rodoviário por ferroviário. Redução de 6.535 t/ano de CO₂e;
- BMTC, Bangalore, Índia – Adoção de Biodiesel B20 em frota de ônibus;
- *Delhi Metro Rail Corp.*, Índia – Renovação do material rodante com adoção de freios regenerativos em 280 carros novos ou modernizados. Redução de 39.428 t/ano de CO₂e;
- *Haldia Petrochemicals*, WestBengal, Índia – substituição do modal rodoviário (2.500 km) no transporte de butadieno¹⁴ por dutos (7 km) e modal portuário. Redução de 6.876 t/ano de CO₂e.

Também existem outras três metodologias em processo de análise que são (Cortez Ferreira, 2007):

- NM0229 – Metrobus Insurgentes – Cidade do México;
- NM0228 – Agreco Biodiesel via rota metálica – Alto Araguaia, MT, Brasil;
- NM0224 – Biodiesel via rota metálica – Kakinata, Índia.

Além das metodologias citadas acima, duas foram retiradas e doze foram rejeitadas pelo Conselho Executivo. Dentre estas metodologias pode-se citar a NM0201, da Cosipar, que propunha a substituição do modal de transporte de minério de ferro no Pará, que foi retirada; e a NM0128, da Aracruz, que também propunha a substituição de modal de carga, sendo que esta última não foi aprovada (Cortez Ferreira, 2007).

2.2 Veículos com Células a Combustível a Hidrogênio

A história das CaCs teve um novo impulso a partir década de 60 do século XX, quando foram utilizadas nas naves tripuladas que foram ao espaço. Hoje esta tecnologia também vem sendo utilizada para produzir energia elétrica na Terra. Dos veículos de passageiros às frotas de ônibus, as CaCs oferecem uma nova forma de suprimento de energia limpa para os veículos rodoviários, podendo também ser utilizadas em navios, trens e até em aviões.

¹⁴ Gás liquefeito, inflamável e incolor a temperatura de -4,4° Celsius e pressão de 2,4 atmosferas.

2.2.1 Células a combustível

A célula a combustível (*fuel cell*) é um dispositivo eletroquímico que transforma energia química de um combustível, neste caso o hidrogênio, diretamente em eletricidade. O hidrogênio, em combinação com o oxigênio do ar, resulta em energia elétrica, calor e água, num processo de eletrólise reversa (Silva et al, 2003).

As diferenças no tamanho, peso, custo e temperatura de operação definem os usos operacionais desta tecnologia, sendo que algumas CaCs não são próprias para o uso em transporte. Os principais tipos de CaCs são (*Environmental Protection Agency - EPA, 2007*):

- Membrana de Troca de Próton (PEMFC - *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) – é a célula mais utilizada para aplicação em veículos de passageiros, pois possui temperatura de operação relativamente baixa (70 a 80° C) e alta densidade de energia.

- Ácido Fosfórico (PAFC - *Phosphoric Acid Fuel Cell*) – é a célula mais desenvolvida comercialmente; gera eletricidade com mais de 40% de eficiência.

- Carbonato Fundido (MCFC - *Molten Carbonate Fuel Cell*) – os estudos indicam altas eficiências para geração de energia. Outra vantagem é poder utilizar combustíveis contendo compostos de carbono.

- Óxido Sólido (SOFC – *Solid Oxid Fuel Cell*) – pode alcançar eficiências de 60% e ser empregada em grandes estações industriais de geração de energia.

- Alcalina (AFC – *Alkaline Fuel Cell*) – foi utilizada extensivamente pelo programa espacial americano, podendo conseguir eficiências de até 70%. Por exigir hidrogênio e oxigênio isentos de compostos de carbono, principalmente CO e CO₂, este tipo de CaC é inadequada para aplicações veiculares.

- Metanol Direto (DMFC – *Direct Methanol*) – eficiências previstas de 40% a 50% operando a baixas temperaturas. É capaz de usar o hidrogênio contido no metanol (CH₃OH) diretamente sem precisar de um reformador.

A maior desvantagem das CaCs até o presente momento, para todos os tipos, é o custo. Porém elas apresentam várias vantagens, por tipo de célula e carga, tais como:

Eficiência – Sua eficiência de transformação é superior aos dispositivos tradicionais, que utilizam a combustão como uma etapa térmica intermediária para retirar energia de um combustível fóssil. As CaCs utilizam 40% a 60% ou mais da energia química contida no combustível contra os 20% dos motores de combustão (U.S. *Department of Energy*, 2003). Outra característica dos sistemas de CaCs é que sistemas pequenos podem ter a mesma eficiência que os sistemas grandes. Esta característica é muito importante para o caso de se ter geração de energia elétrica de pequeno porte que possa necessitar de futuros incrementos de potência (Larminie & Dicks, 2003).

Baixas emissões – O principal subproduto da reação ocorrida na CaC, quando o combustível utilizado é o hidrogênio em moderadas temperaturas, é água pura, o que permite classificar a célula como um sistema de emissão zero. Esta é a sua maior vantagem quando utilizada em veículos, porém deve ser notado que pode ocorrer emissões de CO₂ no processo de produção de hidrogênio.

Silêncio – As CaCs também são silenciosas, mesmo quando acompanhadas pelo reformador de combustível. Isto é muito importante para aplicações portáteis e veiculares, devido à proximidade de pessoas aos equipamentos.

As vantagens das CaCs impactam fortemente nos sistemas que combinam calor e energia (para aplicações em pequena e larga escala) e nos sistemas móveis, especialmente para veículos e equipamentos eletrônicos tais como computadores portáteis, telefones móveis e equipamentos de comunicação militar. Estas áreas são os maiores campos onde as CaCs poderão ser utilizadas. As potências nesta vasta faixa de aplicações vão de poucos watts até megawatts. As células a combustível são os únicos conversores de energia cuja gama de aplicação excede a de todos os outros concorrentes (Larminie & Dicks, 2003). As aplicações dos diferentes tipos de CaCs podem ser vistas na Figura 2.2.

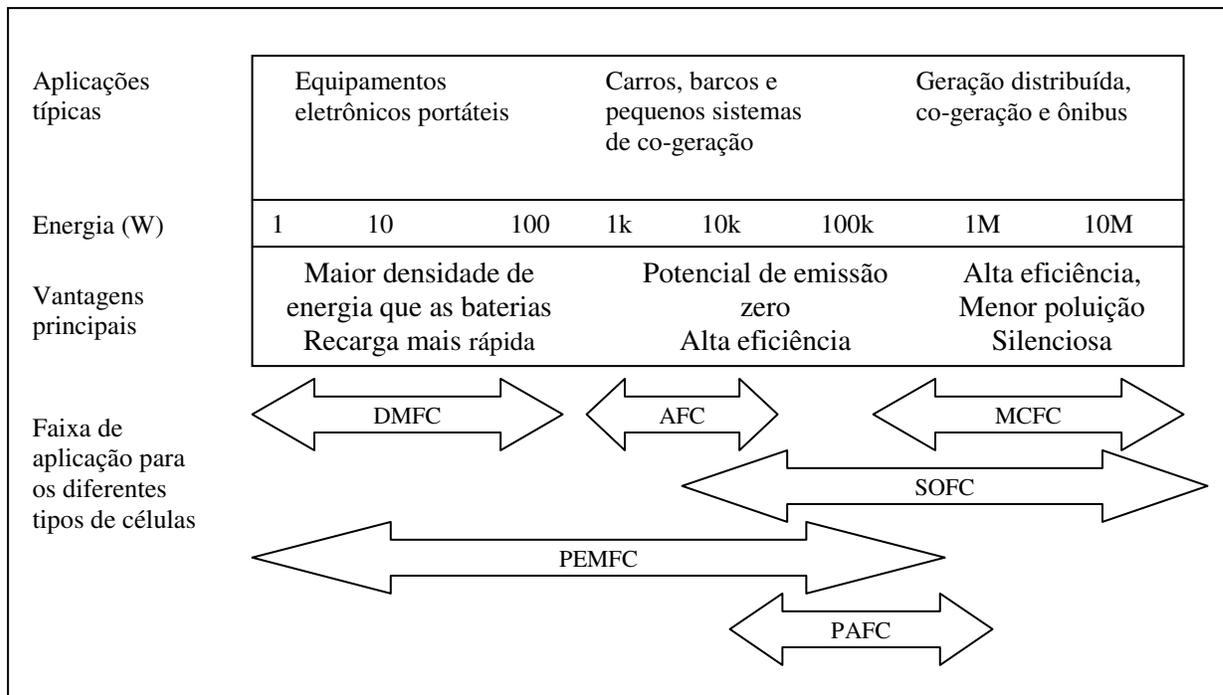


Figura 2.2 – Resumo das aplicações e vantagens de cada tipo de CaCs em diferentes usos.

Fonte: Larminie & Dicks, 2003.

2.2.2 Configuração dos veículos com CaCs

Os veículos com CaCs (*Fuel Cell Vehicles* - FCVs) podem ser classificados de duas maneiras (Araújo, 2004):

- pelos sistema de suprimento de combustível: direto (hidrogênio) ou indireto (reforma do combustível)
- pelos sistema de propulsão elétrico: puros ou híbridos.

Nos sistemas de abastecimento direto, os veículos carregam hidrogênio no tanque de combustível. Este tanque é ligado ao *stack*¹⁵ das células a combustível e fornece hidrogênio sempre que requisitado. O armazenamento de hidrogênio pode ocorrer de três formas: na forma gasosa (comprimido em cilindros de alta pressão), na forma líquida (resfriado a -253°C) e na forma de hidretos metálicos (ligas que funcionam como uma esponja e absorvem o hidrogênio).

¹⁵ *Stacks* são várias células a combustível unitárias conectadas em série, conforme o módulo de aplicação. Como a voltagem de uma única célula é muito baixa, da ordem de 1V, é necessário montar um *stack* para se obter uma voltagem maior.

Os veículos que armazenam hidrogênio desta forma são classificados como veículos de emissão zero.

Nos sistemas de abastecimento indireto os veículos utilizam um combustível que contenha hidrogênio em sua estrutura molecular, como o gás natural, o metanol, a gasolina e o etanol. A obtenção do hidrogênio é feita através de reações químicas em um reformador (conversão do combustível em uma mistura gasosa rica em hidrogênio) a bordo do veículo. Neste processo ocorrem emissões de CO₂ e também alguns poluentes, como mostrada na Tabela 2.3. Convém ressaltar que as emissões observadas nos veículos com CaCs, que utilizam combustíveis derivados de hidrocarbonetos, satisfazem o padrão Europeu para carros EURO 04, assim como os rígidos padrões da Califórnia (Oertel, 2000).

Os veículos com CaCs são um tipo especial de veículo elétrico. Enquanto nos veículos de combustão a Diesel ou a gasolina a energia do combustível é transmitida do motor para as rodas por um sistema mecânico, nos veículos elétricos e com CaCs a propulsão é feita por um motor elétrico.

Tabela 2.3 – Emissões para os diversos tipos de veículos com CaCs e para um veículo com motor de combustão a gasolina.

Tipo de Motor	Vapor de água (g/km)	CO₂ (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	Hidrocarbonetos (g/km)
Combustão Interna – Gasolina ¹	284,70	668,66	33,6	2,24	4,50
FCV – Metanol ²	182,50	109,5	0,025	0,0040	0,0054
FCV – Hidrogênio ²	182,50	0,00	0,00	0,00	0,00
LEV ³	n.d.	n.d.	6,76	0,16	0,145
ULEV ³	n.d.	n.d.	3,38	0,11	0,09
SULEV ³	n.d.	n.d.	1,61	0,03	0,016

LEV – *Low Emission Vehicle*.

ULEV – *Ultra Low Emission Vehicle*.

SULEV – *Super Ultra Low Emission Vehicle*.

1- Medidas da Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA, 2000.

2- Cálculos do *The Desert Research Institute*.

3- Padrões para veículos na Califórnia (*California Vehicle Standards*)

Fonte: Fuel Cells 2000, 2004.

Um veículo elétrico com CaCs é considerado puro quando utiliza energia fornecida apenas pelo sistema de CaCs. Desta forma a célula é dimensionada para fornecer a energia para a potência máxima do motor e todos os outros componentes elétricos, conforme a figura 2.3 para veículo elétrico com CaCs. Por outro lado, quando o veículo elétrico com CaCs utiliza um banco de baterias ou outros dispositivos geradores ou armazenadores de energia é denominado híbrido (CaCH). Neste caso o banco de baterias e/ou outros dispositivos podem trabalhar em paralelo com as células fornecendo energia elétrica para os sistemas de controle do motor. Nesta configuração, Figura 2.3, a célula pode operar em sua potência nominal, ora fornecendo energia ao sistema de tração, ora carregando o banco de baterias ou as duas coisas simultaneamente. O banco de baterias funciona com sua carga flutuando próximo da carga máxima, fornecendo picos de potência para o motor e sendo recarregado em momentos de baixa demanda energética (Ferreira, 2007).

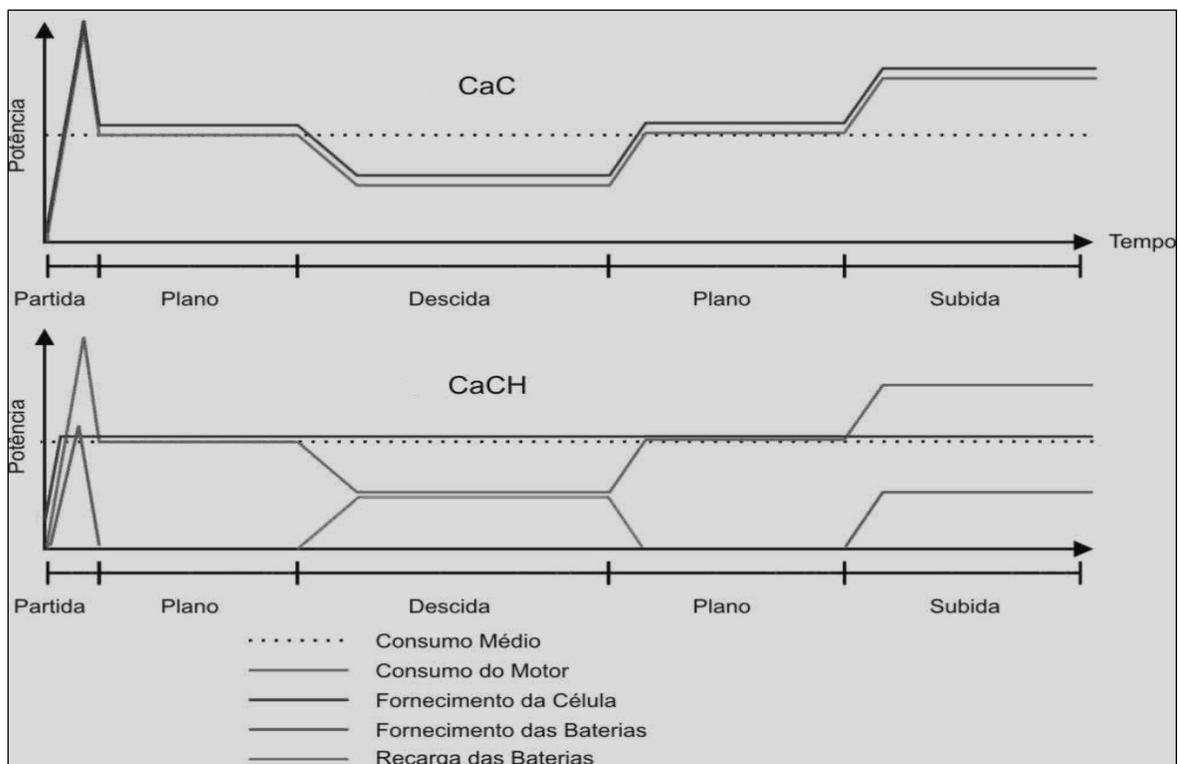


Figura 2.3 – Funcionamento veículo elétrico puro x veículo elétrico híbrido.

Fonte: Ferreira, 2007.

Pode-se verificar pela Figura 2.3 que no caso do veículo elétrico com CaCs toda a energia demandada pelo motor é fornecida pela CaC; desta forma o dimensionamento desta CaC deve ser

feito para o máximo consumo do motor. No caso do veículo elétrico CaCH os picos de consumo são fornecidos pelo banco de baterias; desta forma a CaC pode ser dimensionada para um valor de consumo energético próximo à média de consumo do veículo. Como o custo de um sistema de CaCs é proporcional a sua potência, o sistema torna-se mais barato em um veículo elétrico CaCH (Ferreira, 2007).

2.2.3 Aplicações veiculares das células a combustível

A tecnologia de veículos com CaCs vem crescendo no mundo inteiro por ser uma proposta de transporte sustentável e uma alternativa aos combustíveis tradicionais (Gomes Neto, 2005) . Com relação a comercialização destes veículos, a Honda anunciou em 2006 que seus modelos deverão estar disponíveis no mercado global em 3 ou 4 anos (2009 – 2010). A companhia japonesa disse também que este veículo será baseado no conceito do modelo FCX já desenvolvido. Já a General Motors espera ter estes veículos disponíveis dentro de 4 ou 9 anos (2010 – 2015).

Não apenas ocorreu um impulso dos fabricantes no desenvolvimento de veículos com CaCs, mas igualmente parece existir uma demanda maior de consumidores para tais carros, assim como o suporte crescente dos governos em ajudar a obter comercialmente frotas de veículos com CaCs (Crawley, 2007).

Por exemplo, na mostra de 2006 do Greater Los Angeles Auto Show, houve um notável aumento no número de carros pequenos com tecnologias limpas na exposição e de consumidores que demonstravam um interesse maior nestes veículos. Além disto, há um número crescente de protótipos de carros movidos a hidrogênio aparecendo nas estradas da Califórnia, que incluem um número de veículos com CaCs (Crawley, 2007).

A favor destes veículos vários órgãos governamentais têm promovido publicamente os méritos das tecnologias amigas do meio ambiente (*environmentally friendly technologies*). Nos Estados Unidos, por exemplo, o Departamento de Energia concedeu ao *Clean Cities* o título *Central Coast Clean Cities Coalition* pelo seu trabalho em promover veículos com combustíveis alternativos e a independência energética do país.

Estas observações são reforçadas quando se verifica o número de unidades novas liberadas na Figura 2.4. Enquanto alguns destes veículos são modelos conceituais, projetados por vários institutos de pesquisa e universidades, a maioria deles é operada em circunstâncias reais e projetada para uso em aplicações práticas. O aumento do número de veículos de passageiro com CaCs entre 2006 e 2007 pode ser atribuído a uma ascensão significativa do número de veículos na Califórnia, Japão e Alemanha (Crawley, 2007).

Com relação ao tipo de célula a ser utilizada em veículos, permanece o interesse pelas células do tipo PEMFC, embora exista algum interesse pela SOFC e pela PAFC para o uso em veículos de passageiro. A expectativa é que os novos modelos utilizem células PEMFC com hidrogênio comprimido (Crawley, 2007).

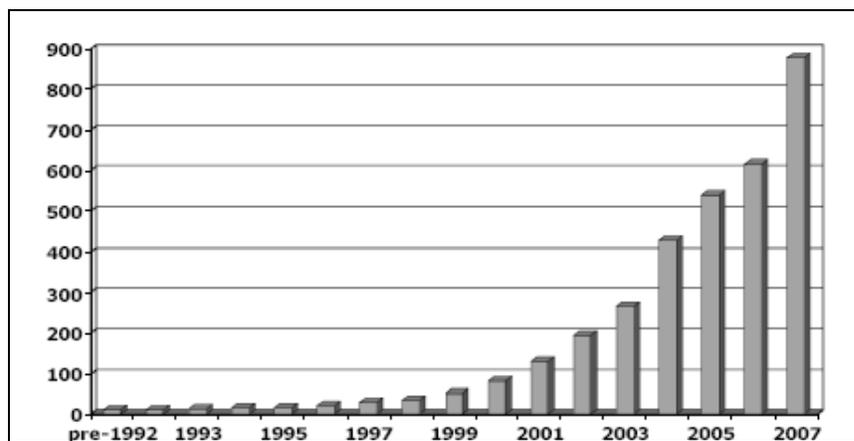


Figura 2.4 – Número de veículos com células a combustível.

Fonte: Crawley, 2007.

Em termos de desenvolvimento de veículos, a América do Norte foi a região dominante em 2006, com a metade dos veículos desenvolvidos. O continente Europeu vem em segundo lugar. Em comparação com os dados de 2005 há duas observações interessantes. Em 2006 o Japão não apresentou nenhum desenvolvimento e que em 2005 o desenvolvimento estava razoavelmente distribuído entre Ásia (não incluindo Japão), Europa, Japão e América do Norte (Crawley, 2007).

Examinando onde os veículos estão atualmente em uso, há mais uma vez um forte domínio da América do Norte. Nesta região há um crescente apoio para projetos de demonstração e um

entusiasmo enorme para colocar os veículos com CaCs na estrada. O apoio de estados como Califórnia e de esquemas de operação no Canadá, como o *Vancouver Fuel Cell Programme*, antecipou o emprego de veículos com CaCs em várias aplicações nos EUA, como o serviço postal, os aeroportos e pelas forças armadas americana. Para 2008 a expectativa é ver mais veículos sendo usados na Europa, particularmente na Alemanha. Da mesma forma, espera-se que o número de veículos que estão sendo utilizados no Japão cresça significativamente (Crawley, 2007).

A seguir são apresentados os principais fabricantes de veículos de passageiros com CaCs e seus modelos.

FORD

A Ford começou a desenvolver veículos com CaCs a partir da década de 90. Em 1994 desenvolveu seu primeiro protótipo em parceria com a *Internacional Fuel Cells* (conhecida atualmente como *UTC Fuel Cells*), que forneceu naquela ocasião uma célula de 50 kW. Os maiores desenvolvimentos obtidos pela Ford começaram a partir de 1998, quando firmou parceria com a Ballard/DaimlerChrysler (Gomes Neto, 2005).

Embora possua mais protótipos desenvolvidos utilizando CaCs, nos últimos quatro anos a Ford apresentou cinco modelos onde o hidrogênio é utilizado em um motor de combustão interna. Em seus veículos utilizando CaCs a Ford sempre optou por uma concepção híbrida, utilizando bancos de baterias em conjunto com o sistema de CaCs (Ferreira, 2007).

Em janeiro 2007, a Ford apresentou o novo Ford Airstream, um veículo conceito, com um avançado sistema de direção conhecido como *HySeries Drives*. A conexão (*plug-in*) do sistema híbrido de CaCs trabalha como um gerador portátil, que tem por função recarregar o banco de baterias de íons de lítio do veículo. Se bem sucedida, esta tecnologia poderá ser aplicada a uma escala maior de veículos (Crawley, 2007).

Também neste mesmo período foi lançado o Ford *Edge* com *Hyseries Drive*. Este veículo roda aproximadamente 40 km somente com as baterias e 320 km com a célula recarregando o

banco de bateria (*California Fuel Cell Partnership - CaFCP, 2007*). Esta é a 4ª geração de veículos com CaCs da Ford (Figura 2.5 e 2.6).



Figura 2.5 – Ford *Edge* 2007.

Fonte: H₂mobility, 2007a.



Figura 2.6 – *Plug-in* para recarga da bateria e *HySeries Drive* no Ford *Edge* 2007.

Fonte: H₂mobility, 2007a.

TOYOTA

A Toyota lançou seu primeiro veículo em 1992, mas foi em 1996 que apresentou o primeiro veículo da série FCHV (*Fuel Cell Hybrid Vehicle*). Este veículo armazenava hidrogênio em hidretos metálicos. Em 97 ela lançou uma versão deste veículo utilizando metanol reformado. Em 2001 lançou as versões FCHV 3, 4 e 5. O FCHV 3 armazenava hidrogênio em hidretos metálicos e era mais eficiente que a primeira versão. O FCHV 4 utilizava hidrogênio comprimido e um sistema de células a combustível desenvolvido pela própria Toyota. Já o FCHV 5 utilizava um reformador de hidrocarbonetos (Gomes Neto, 2005, Toyota, 2007).

O Toyota FCHV (Figura 2.7) de 2002 é uma versão avançada do FVCH 4 e passou durante 18 meses por aproximadamente 130 mil km de teste na Califórnia e no Japão. Em dezembro de

2002, a Toyota iniciou um processo de *leasing* de alguns destes veículos para os USA e o Japão (CaFCP, 2007).



Figura 2.7 – Toyota FCHV.

Fonte: *Fuel Cell Partnership*, 2007a.

HONDA

A Honda iniciou os estudos de veículos com CaCs em 1989 e desde 1999 possui veículos em teste nos Estados Unidos. Ela também é membro do programa CaFCP da Califórnia desde 1999.

Desde sua primeira versão, em 1999, o Honda FCX segue um padrão diferente da maioria dos veículos a hidrogênio, pois foi projetado exclusivamente para comportar a tecnologia, ou seja, não é uma versão adaptada de um modelo comercial. A Honda valeu-se de diferentes conceitos e tecnologias ao longo das sete gerações do FCX, desde o armazenamento de hidrogênio até na utilização de freios regenerativos. Hoje, tem um veículo com alta eficiência, aceleração comparável ao Honda Civic, emissão zero, seguro e elegante. É o único veículo em estágio pré-comercial a utilizar um sistema híbrido de células a combustível e ultracapacitores, permitindo tempo de resposta em acelerações compatível com os veículos convencionais (Ferreira, 2007). O Honda FCX pode ser visualizado na Figura 2.8.

O modelo FCX da Honda é o único veículo com CaCs certificado pelo *California Air Resource Board* (CARB) e pela EPA para uso contínuo, atendendo todos os requisitos de segurança norte americanos (Honda, 2007a).



Figura 2.8 - Honda FCXV 4.

Fonte: Honda, 2007b

O Honda FCX está em uso, em algumas cidades, desde 2002 e faz parte uma longa linha de veículos desenvolvidos pela Honda para reduzir os impactos dos transportes no meio ambiente. A CaC utilizada neste modelo é fornecida pela própria Honda (Honda FC *Stack*). Ela é capaz de operar em temperaturas a baixo de 0°C com maior performance, alcance e menor consumo de combustível comparada com outros modelos (Honda, 2007c).

Em 2005 a Honda liberou para *leasing* individual o primeiro veículo com CaCs, sendo que o segundo seria liberado em 2007 (Honda, 2007c). Atualmente pequenas frotas (até 20 veículos) podem ser encontradas em utilização por diversos órgãos governamentais nas cidades americanas de Nova Iorque (estado de Nova Iorque), Los Angeles, Sacramento e Las Vegas (estado da Califórnia) (Ferreira, 2007).

A próxima geração do FCX é o FCX *Concept* (Figura 2.9), que foi apresentado em 2007 no Geneva Show. Trata-se de um modelo compacto com alta eficiência das células Honda FC *Stack*, que inovam ao mudar para a vertical o fluxo de hidrogênio e água (Figura 2.10). Este veículo apresenta uma eficiência energética de aproximadamente 60%, praticamente 3 vezes superior a de um veículo a gasolina, 2 vezes a de um veículo híbrido e 10% melhor que a do FCX no mercado. Este modelo será desenvolvido a partir de 2008 e segundo a empresa estará rodando nos EUA e Japão (Honda, 2007d).



Figura 2.9 – Honda FCX *Concept*.

Fonte: Honda, 2007e.

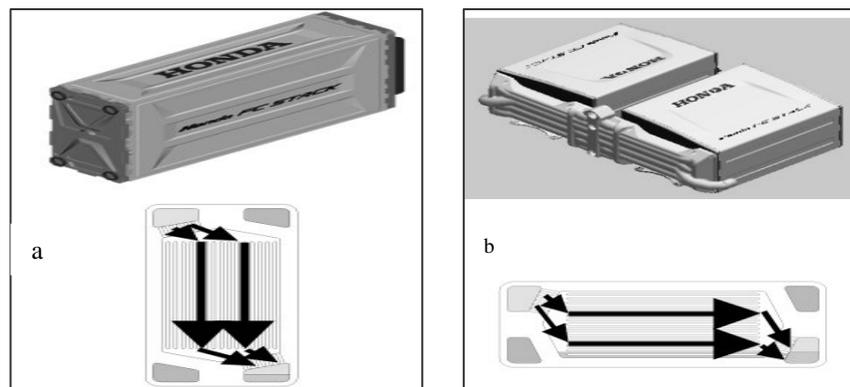


Figura 2.10 – Honda FCX FC *Stack*. (a) novo *layout* com fluxo vertical (b) antigo *layout* com fluxo horizontal.

Fonte: Honda, 2007f.

Em julho de 2007 o IRS americano anunciou que o Honda FCX foi escolhido para participar do programa de crédito *Qualified Fuel Cell Motor Vehicle Credit*. Este crédito faz parte do programa federal americano *Energy Policy Act of 2005* (Honda, 2007c).

GENERAL MOTORS

O objetivo da GM é ser a primeira fabricante de automóveis a vender 1 milhão de veículos com CaCs. Para isto está demonstrando estes veículos, incluindo o *Hy-wyre* e o *HydroGen3*, para o público e os governos em torno do mundo. A quarta geração de seus veículos, o *Equinox Fuel*

Cell e a Chevrolet *Sequel*, esta sendo testada em várias cidades do mundo. Sua última novidade foi a demonstração do que deverá ser a quinta geração dos veículos GM com CaCs: o conceito Chevrolet Volt, que utiliza o sistema de CaCs *E-Flex*, que tem a metade do tamanho do seu antecessor, porém com a mesma potência e desempenho (GM, 2007a).

O Equinox *Fuel Cell* é um veículo *crossover* projetado para 80.000 quilômetros de vida útil (Figura 2.11) (GM, 2007b). A CaC deste veículo está capacitada a trabalhar em temperaturas de abaixo de 0°C durante sua vida útil. Espera-se em 2007 obter todos os padrões de segurança federais aplicáveis aos veículos motorizados dos USA (*U.S. Federal Motor Vehicle Safety Standards*) (GM, 2007b). Este veículo também é equipado com uma série de padrões de segurança para fornecer todos os benefícios ambientais produzidos pelo uso da tecnologia das CaCs com hidrogênio.



Figura 2.11– GM *Equinox Fuel Cell*.

Fonte: Fuel Cell Partnership, 2007b

Em setembro 2006, a GM introduziu a versão dirigível da Chevrolet *Sequel*. Segundo a empresa trata-se do veículo com a tecnologia mais avançada já desenvolvida (GM, 2007b). O *Sequel* é o primeiro veículo com células a combustível que consegue ir de 0 a 97 km/h em 10 segundos e tem uma autonomia de 300 milhas, aproximadamente 482 km (Figura 2.12). A consequência disto é que o *Sequel* entrou recentemente nos livros dos records como o primeiro veículo elétrico com CaCs a conseguir mais de 482 km com um tanque de hidrogênio, rodando em estradas públicas e com emissões zero de poluentes (GM, 2007a).



Figura 2.12 – Chevrolet *Sequel* da GM.

Fonte: Hidrogenoo,2007.

A GM é a empresa que mais investe no quesito inovação tecnológica em seus modelos de veículos com CaCs. Utilizando este tipo de veículo como um *showroom* tecnológico, a GM introduziu em seus protótipos o estado da arte tecnológico apresentando veículos futuristas em *design* e tecnologia, levando o conceito de *drive-by-wire*¹⁶ ao extremo. Com este enfoque a GM apresentou em 2002 o GM *HiWire*, um veículo totalmente elétrico onde a tração é realizada por quatro motores conectados diretamente às rodas (Figura 2.13). O *HiWire* é dirigido através de *joysticks* que acionam motores elétricos responsáveis por esterçar o veículo. O sistema de *joysticks* permite até mesmo que a direção seja desacoplada e colocado no banco de passageiros (Ferreira, 2007).

¹⁶ O conceito *drive-by-wire* consiste em substituir o maior número possível de sistemas mecânicos por sistemas eletro-eletrônicos.



Figura 2.13 - GM *HiWire* o primeiro veículo a utilizar totalmente o conceito *drive-by-wire*.
Fonte: H₂mobility, 2007b.

DAIMLERCHRYSLER

A Daimler é a empresa com maior número de veículos utilizando CaCs desenvolvidos. Os veículos NECAR (*New Electric Car*) demonstraram a capacidade da empresa em utilizar diversas tecnologias de CaCs. Estes veículos montados sobre a plataforma do Classe – A foram os pioneiros a disponibilizar o mesmo volume interno para os passageiros existente nos veículos convencionais. Alguns veículos dessa série possuem reforma embarcada de metanol, possibilitando que o veículo seja abastecido com este combustível, porém aumentando consideravelmente a sua autonomia.

Uma evolução da série NECAR, o F-Cell foi recentemente lançado em pequenas frotas (30 a 60 veículos) de testes, para rodar nos EUA, Japão e Alemanha. A Figura 2.14 mostra a última versão do *F-Cell* desenvolvido pela Daimler. Este veículo já se encontra na sexta geração de desenvolvimento (CaFCP, 2007).



Figura 2.14 - Veículo *F-Cell* desenvolvido pela Daimler, disponível em pequenas frotas.

Fonte: H₂mobility, 2007c.

2.2.4 – Políticas para o desenvolvimento de veículos com células a combustível

O principal programa de incentivo aos veículos com células a combustível encontra-se na Califórnia, EUA. O objetivo do chamado Programa de Veículos com Emissão Zero (*Zero Emission Vehicle – ZEV*) proposto pelo CARB é mudar a frota de veículos automotores por veículos limpos, sem emissões diretas. Desde sua implantação em 1990, o programa foi modificado em várias ocasiões para refletir melhor o ritmo do desenvolvimento das tecnologias, os custos e a realidade do mercado. O programa ZEV continua a impulsionar o desenvolvimento de veículos limpos e suporta a necessidade de encontrar metas ambientais de longo prazo para a Califórnia (ARB, 2007).

O CARB adotou em setembro de 1990 a regulamentação de veículo com baixo carbono, cujo objetivo foi reduzir drasticamente as emissões de veículos de passageiros e caminhões leves. Como parte do novo programa, foi adicionada uma meta para os fabricantes de veículos começarem a comercialização de veículos ZEV a partir dos veículos-ano-modelo de 1998. O programa permitiu aos fabricantes benefícios no desenvolvimento de veículos convencionais extremamente limpos, combustíveis alternativos e veículos elétricos híbridos (ARB, 2007).

Devido ao esforço tecnológico exigido pelo programa, o comitê determinou que seu *staff* se reunisse regularmente para verificar o progresso alcançado para atingir os requerimentos do

programa. Fazendo isto, o Comitê passou a ter informações para corrigir as metas de forma a adequá-lo às novas tecnologias veiculares e às experiências adquiridas pela indústria.

O programa original determinava que 10% dos veículos novos colocados à venda deveriam ser de emissão zero, começando a partir dos modelos de 1998. O Comitê modificou o programa em 1998 e 2001 de modo que 60% dos veículos deveriam ter emissões extremamente baixas e uma série de atributos. Em 2009 estes veículos deverão representar 85% dos veículos novos. Veículos com estes padrões são chamados de veículos com emissões zero parciais (*Partial Zero Emissions Vehicles* – PZEV) e tecnologias avançadas veículos com emissões zero parciais (*Advanced Technology Partial Zero Emission* – AT PZEV). Para simplificar as categorizações esses veículos são agora classificados em ouro (ZEV), prata (AT PZEV) e bronze (PZEV), como mostrado na Tabela 2.4. PZEV e AT PZEV são sucessos comerciais e respondem por uma significativa redução de emissões no número de veículos novos vendidos. Exemplos de AT PZEV é o Toyota híbrido Prius e de PZEV o Ford Focus.

Em 2003 o comitê corrigiu a porcentagem de ZEVs exigidos, passando para 11% em 2009 e 16% em 2018. Foi permitido a vários fabricantes optar entre as percentagens exigidas de ZEV de 2003 ou os indicados na tabela 2.5, chamado de caminho alternativo. Este caminho alternativo foi criado para acelerar a comercialização de veículos com CaCs¹⁷. Os fabricantes poderão utilizar os AT PZEVs para atender as obrigações ouro e prata, desde que cumpram as exigências especificadas abaixo na Tabela 2.5.

¹⁷ O caminho alternativo exige o uso de ZEVs do tipo III. O tipo III é definido como sendo ZEVs com autonomia maior que 100 milhas (160 km) e tempo de reabastecimento de 10 minutos ou menos. Esta exigência é atualmente demonstrada por veículos com CaCs, conseqüentemente, quando se referem as exigências do tipo III, o *staff* de funcionários se refere aos veículos com CaCs.

Tabela 2.4 – Exigências do Programa ZEV para modelos de 2009 – Cenário de base.

Padrões de Certificação				
(%) Exigido	% do total de vendas*	Tipo de veículo	Categoria	Descrição Técnica
2,5%	< 1%	ZEV	Ouro	Emissão zero: veículos elétricos a bateria e veículos com CaCs a hidrogênio.
2,5%	5%	AT PZEV	Prata	Veículos certificados de acordo com o padrão PZEV e que incorporam alguma tecnologia ZEV: veículos híbridos ou veículos com gás natural veicular comprimido.
6%	30%	PZEV	Bronze	Veículos convencionais certificados com o mais restrito padrão de emissão, emissões evaporativas zero e com mandato ampliado.
11%	Total de ZEVs requeridos			

* O percentual de venda total na Califórnia difere do percentual requerido por causa do vários tipos de créditos por veículos.

Fonte: ARB, 2007.

Tabela 2.5 – Exigências para o caminho alternativo.

Fase	Modelo	Participação dos fabricantes
I	2005 - 2008	250 FCV
II	2009 - 2011	2.500 FCV
III	2012 - 2014	25.000 FCV
IV	2015 - 2017	50.000 FCV

Fonte: ARB, 2007.

Como ilustrado na Tabela 2.5 as exigências para os veículos com células a combustível são aumentadas por um fator dez para as fases II e III e dobram então para a fase IV, refletindo a transição entre a fase de demonstração à comercialização plena (ARB, 2007). As fases I e II refletem os veículos com CaCs que ainda estão em processo de desenvolvimento, para os quais ainda se esperam mudanças tecnológicas adicionais antes da comercialização. As fases III e IV são desenvolvidas para estabelecer novos mercados comerciais para esta tecnologia na Califórnia. Uma tarefa central atribuída ao Painel foi determinar se o caminho alternativo é tecnologicamente viável e apropriado para alcançar a comercialização bem sucedida de CaC. O comitê deverá se reunir até o final do ano de 2007 para reavaliar as propostas apresentadas.

A Comissão da Comunidade Européia (2007) apresentou uma comunicação onde propõe criar uma política de redução de emissões de CO₂ em veículos de passageiros e comerciais leves. Segundo o Conselho Europeu de 2006, foi confirmado por unanimidade a necessidade de, “... *de acordo com a estratégia comunitária relativa às emissões de CO₂ dos veículos comerciais ligeiros, assegurar que os veículos novos reduzam, em média, as suas emissões de CO₂ para 140 g/km até 2008/09 e para 120 g/km até 2012*”. Já o Parlamento Europeu havia preconizado em 2005 “... *a instituição de uma política de fortes medidas para reduzir as emissões de CO₂ dos veículos novos, na ordem dos 80 a 100 g/km para os veículos novos a médio prazo, a obter através de um regime de comércio de direitos de emissão entre os fabricantes de automóveis...*” (Comissão da Comunidade Européia, 2007).

A Comissão considera que na ausência de medidas eficazes, o aumento das emissões de transporte rodoviário de passageiros prosseguirá nos próximos anos, comprometendo todos os esforços da União Européia para diminuir as emissões de GEE, de acordo com o Protocolo de Quioto e transferindo o esforço para outros setores também sensíveis a concorrência internacional (Comissão da Comunidade Européia, 2007).

Em outubro 2007 a Comissão da Comunidade Européia anunciou que liberará 470 milhões de Euros (aproximadamente R\$1,2 bilhão) para aplicar em pesquisa envolvendo CaCs a hidrogênio (EuropaEU, 2007). O objetivo é facilitar a comercialização de veículos com esta tecnologia. A Comissão aguarda uma contrapartida semelhante do setor privado nos próximos seis anos. A União Européia quer promover o uso do hidrogênio por ser uma energia limpa que não emite CO₂ e porque ele pode ser produzido a partir de energias renováveis, como a eólica.

Outra medida também anunciada diz respeito à homologação dos veículos. A intenção é obter a homologação de todos os modelos de automóveis que os fabricantes possam comercializar no futuro, facilitando a passagem do automóvel movido a derivado de petróleo para o movido a hidrogênio (EuropaEU, 2007).

2.3 Produção de Hidrogênio por Fontes Renováveis Alternativas de Energia

O hidrogênio não é uma fonte primária de energia, não sendo, portanto encontrado em minas ou jazidas, nem podendo ser produzido, pelo menos em grandes quantidades, através de processos naturais espontâneos. Entretanto ele pode ser facilmente gerado por meio de um grande número de processos artificiais que envolvem diversas fontes primárias, tais como o carvão, petróleo, energia solar, eólica, nuclear, etc. (Silva, 1991).

Atualmente a maior parte do hidrogênio obtido mundialmente provém das fontes fósseis. Através da reforma do gás natural são produzidos cerca de 48% do hidrogênio no mundo; o petróleo e o carvão são responsáveis por 30% e 18% da produção, respectivamente. A eletrólise, que produz hidrogênio a partir da dissociação (quebra) da molécula da água, é responsável por apenas 4% dessa produção (Silva et al, 2003). Isto é devido ao alto custo da eletricidade, nos países desenvolvidos, que geralmente equivale a dois terços do custo operacional da produção de hidrogênio, sendo mais caro que os outros métodos citados (Gomes Neto, 2005). É importante lembrar que no caso do Brasil este custo será diferente, pois a geração de energia elétrica brasileira é quase toda de origem hidráulica, sendo mais barata que nos países desenvolvidos.

Neste trabalho são consideradas quatro fontes renováveis de energia para a produção de hidrogênio, a saber: hidráulica, eólica, fotovoltaica (que utilizam o processo de eletrólise) e biomassa (reforma de etanol). A Figura 2.15 ilustra simplificadaamente os processos de obtenção do hidrogênio através destas fontes renováveis.

No processo de geração de hidrogênio a partir das quatro fontes selecionadas pode-se considerar que não ocorrem emissões de GEE, como será mostrado mais adiante na descrição destes processos, porém existe uma emissão anterior à geração do hidrogênio que deverá ser contabilizada. Trata-se neste caso da geração de energia e combustível para a produção do hidrogênio (Silva et al, 2003).

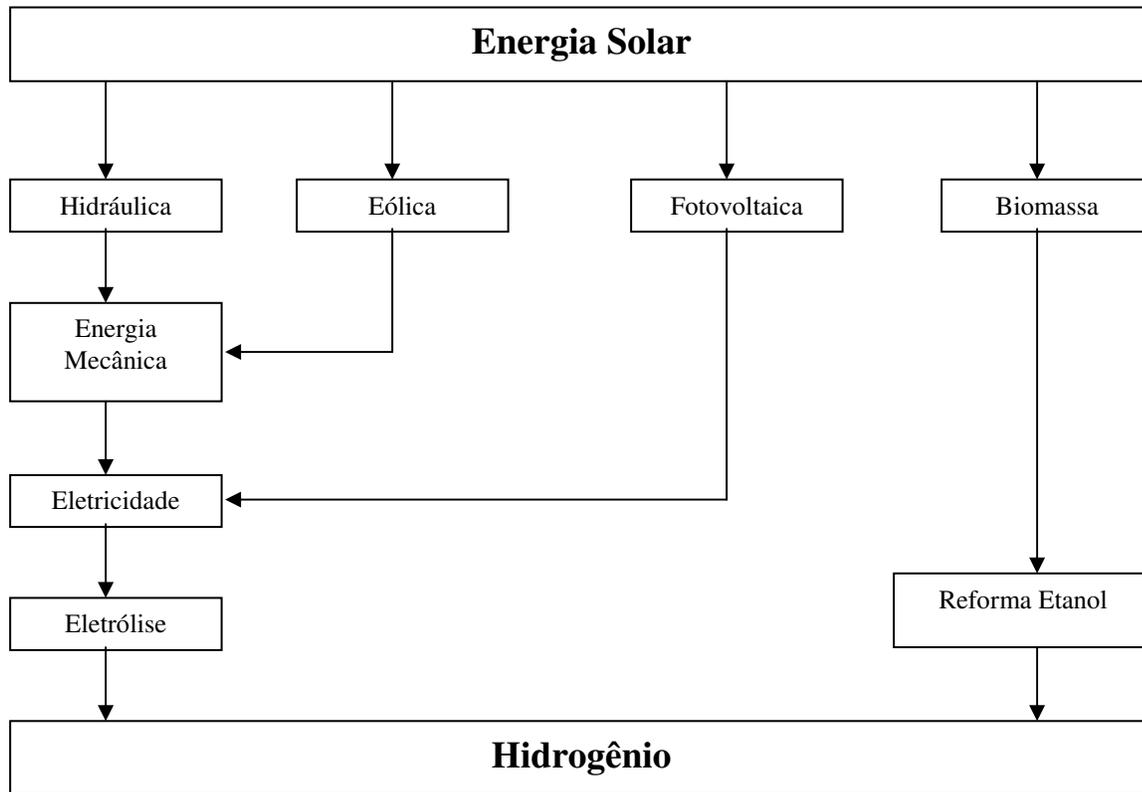


Figura 2.15 - Diagrama simplificado da obtenção do hidrogênio através das fontes renováveis.

Fonte: Silva et al, 2003.

Toda tecnologia de produção de eletricidade gera CO₂ e outros GEE. Estas emissões podem ser diretas, durante o processo de geração de energia, e indiretas, como por exemplo, nas fases que antecedem o processo de geração. As tecnologias que utilizam combustíveis fósseis possuem uma pegada de carbono¹⁸ (*carbon footprints*) muito grande, pois queimam estes combustíveis durante o processo de geração de energia (*Parliamentary Office of Science and Technology - POST, 2006*). As tecnologias baseadas em combustíveis renováveis são frequentemente chamadas de baixo carbono (*low carbon*) ou carbono neutro (*carbon neutral*) porque elas não emitem CO₂ durante sua operação. Entretanto, elas não são livres de carbono (*carbon free*), pois emissões de CO₂ ocorrem em outras fases do ciclo de vida como, por exemplo, durante a extração da matéria prima, construção dos sistemas de conversão de energia, manutenção ou demolição.

¹⁸ Pegada de carbono é o total de CO₂ e GEE emitidos durante o ciclo de vida de um processo ou produto. A pegada é expressa em gramas de CO₂ equivalente por quilowatt hora de geração (g/kWh) (POST, 2006).

A pegada de carbono é calculada através da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV). A ACV é utilizada, entre outras finalidades, para analisar os impactos ambientais acumulados do processo ou produto durante todos os estágios de sua vida. Ela é estabelecida internacionalmente pelo padrão ISO 14.000.

Para este trabalho, entretanto, não será possível efetuar uma análise de ciclo de vida completa para todas as fontes renováveis escolhidas. Porém, serão pesquisados na literatura dados disponibilizados no Brasil para os cálculos de análise de ciclo de vida até a geração da energia elétrica (utilizada no processo de eletrólise) e na geração do etanol (utilizado no processo de reforma). Desta forma será possível obter dados mais realistas, porém não definitivos, para a comparação de veículos com células a combustível e veículos tradicionais.

A seguir são descritos os dois processos de geração de hidrogênio. Dentro destes processos são apresentadas as emissões de CO₂e para cada uma das fontes de interesse: eletrólise (emissões para a geração de energia elétrica a partir de fonte hidráulica, eólica e solar) e reforma de etanol (emissões geradas para a produção do etanol).

2.3.1. Eletrólise

A eletrólise é um processo eletrolítico particular que utiliza eletrodos inertes e um meio aquoso condutor ácido ou básico, onde a molécula de água é decomposta em seus constituintes: hidrogênio e oxigênio. Existem vários sistemas nos quais a eletrólise da água pode ser desenvolvida, diferenciando entre si, essencialmente, através do tipo de condutor iônico utilizado. De qualquer forma, em todos eles a reação final é a decomposição da água como mostra a Equação 2.1 (Silva, 1991):



O hidrogênio produzido através desta tecnologia possui alto grau de pureza, dispensando os sofisticados sistemas de purificação de gás necessários nos processos de reforma. Durante o

processo de eletrólise o único subproduto é o oxigênio, não existindo assim a emissão de gases poluentes e de efeito estufa.

Para este trabalho será considerado o uso de energia elétrica de origem renovável para a produção do hidrogênio. A seguir são apresentadas as emissões de CO₂ associadas à produção da energia elétrica.

Emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de energia elétrica de origem hidráulica

No processo de geração de energia hidroelétrica, a energia potencial da água armazenada no reservatório é transformada em energia cinética e energia de pressão dinâmica pela passagem da água pelos condutos forçados. Ao fazer o acionamento da turbina, essa energia é convertida em energia mecânica, que por sua vez é transmitida ao eixo do gerador, que se encontra conectado à turbina. No gerador a energia mecânica é transformada em energia elétrica, a qual passa por uma subestação elevadora de tensão, sendo então injetada no sistema de transmissão que a fará chegar aos centros consumidores.

As emissões de GEE de hidrelétricas são oriundas de decomposições bacterianas aeróbicas e anaeróbicas de matéria orgânica (biomassa que ficou submersa com o enchimento do reservatório, que são trazidas pelo rio ou que se originou no próprio reservatório, como é o caso das plantas aquáticas) e de outros processos inorgânicos nos reservatórios, produzindo CO₂ e CH₄. O resultado da decomposição aeróbica é a formação de CO₂ e da decomposição anaeróbica é a formação de CH₄ e CO₂, e em ambos os casos as emissões são consideradas adicionais, pois sem os reservatórios (ação antrópica), estas não ocorreriam nas proporções que são observadas (Reis, 2001).

O Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Emissões de Dióxido de Carbono e Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros, realizado pela COPPE/MCT (2006), analisou as emissões de nove reservatórios hidrelétricos. Para isto utilizou uma medição experimental dos gases exalados pelos reservatórios para determinar especificamente as emissões de CH₄ e CO₂, tanto sob a forma de bolhas, que desprendem do fundo do lago por efeito da decomposição da matéria orgânica, quanto dos gases

transportados verticalmente no gradiente do lago por difusão molecular. Os reservatórios estudados e os dados obtidos são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Emissões de GEE de algumas hidrelétricas brasileiras.

Hidrelétricas	Área do Reservatório	Potência da Hidrelétrica	CH ₄	CO ₂	Emissão Total ¹ CO ₂
	km ²	MW	kg/km ² /dia	kg/km ² /dia	t/ano
Tucuruí	2.430	4.240	109,4	8,475	2.602.945
Samuel	559	216	104,0	7.448	535.407
Xingó	60	3.000	40,1	6.138	41.668
Serra da Mesa	1.784	1.275	51,1	3.973	895.373
Três Marias	1.040	396	196,3	1.117	540.335
Miranda	50,6	390	154,2	4.388	38.332
Barra Bonita	312	140,76	20,9	3.985	137.341
Itaipu	1.549	12.600	20,8	171	93.269
Segredo	82	1.260	8,8	2.695	23.497
Total		23.518			4.908.166

1- Inclui o carbono do CH₄ e do CO₂: (CH₄ x 12/16 x 7,6 + CO₂ x 12/44) x 365/1000, onde 7,6 é o potencial de aquecimento global molar do metano.

Fonte: COPPE/MCT, 2006

Segundo trabalho realizado pela Eletrobrás (2000), as emissões de GEE por hidrelétricas podem ser reduzidas de duas maneiras, primeiro evitando a baixa densidade de potência na escolha dos reservatórios (W/m²) e também pelo desmatamento da área do reservatório antes da inundação.

Apesar das estimativas de emissões de GEE por reservatórios de usinas hidrelétricas estarem sendo realizadas no Brasil desde 1992 (COPPE, Eletrobrás), ainda hoje apresentam dificuldades metodológicas e muitas incertezas.

No Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), pertencente ao Ministério de Minas e Energia, utilizou a metodologia apresentada pelo IPCC para estimar as emissões de GEE (CO₂ e CH₄) proveniente dos reservatórios das hidrelétricas, sendo utilizadas as Equações 2.2 e 2.3 para o cálculo das emissões de CO₂ e CH₄:

$$X = P \cdot E(x)_{\text{diff}} \cdot A_{\text{total}} \cdot f_A \times 10^{-6} \quad (\text{Eq 2.2})$$

onde:

X = emissões de CO₂ totais da área convertida à área alagada, Gg/ano

P = número de dias sem gelo durante o ano, dias/ano

E(x)_{diff} = coeficiente de emissões difusivas diárias de CO₂, kg/(ha . dia)

A_{total} = área total do reservatório, ha

f_A = fração da área total do reservatório que foi alagada nos últimos 10 anos

$$Y = P \cdot E(y)_{\text{diff}} \cdot A_{\text{total}} \cdot f_A \times 10^{-6} \quad (\text{Eq 2.3})$$

onde:

Y = emissões de CH₄ totais da área alagada, Gg/ano

E(y)_{diff} = fator de emissão difusiva diária de CH₄, kg/(ha . dia)

O valor de P utilizado foi de 365 dias e f_A foi considerado igual a 1.

A própria EPE cita neste trabalho as observações do IPCC sobre as emissões de CO₂ estimadas pela Equação 2.2 como sendo altamente incertas, devido o fator de emissão não levar em consideração as diferenças de condições locais e o tempo desde o alagamento. Segundo a EPE (2007) a metodologia para o cálculo das emissões de CO₂ considera somente os primeiros 10 anos após o enchimento do reservatório, pois estas seriam as emissões oriundas da decomposição da matéria orgânica presente na área antes do alagamento da mesma.

Também chama atenção para o fato de que as Equações 2.2 e 2.3 estimam somente as emissões devido à difusão molecular entre a interface ar-água, salientando que esse mecanismo é o maior contribuinte na emissão de CO₂. As emissões por bolhas são muito importantes no que diz respeito às emissões de CH₄, especialmente em regiões temperadas e tropicais (IPCC, 2006 apud EPE, 2007).

Para realizar as estimativas das emissões de GEE nas hidrelétricas brasileiras, a EPE utilizou os fatores de emissões sugeridos pelo IPCC (2006) conforme a Tabela 2.7. Estes valores variam segundo o clima da região.

Tabela 2.7 – Fatores de emissões utilizados na estimativa das emissões de GEE nas hidrelétricas brasileiras.

Emissões de CO₂ medidas para áreas alagadas					
Clima	Emissões Difusivas E(x) _{diff} kg /ha x dia				
	Média	Mínimo	Máximo	Nm	Nres
Tropical Úmido	44,9	11,5	90,9	642	7
Tropical Seco	39,1	11,7	58,7	197	5
Emissões de CH₄ medidas para áreas alagadas					
Clima	Emissões Difusivas E(y) _{diff} kg /ha x dia				
	Média	Mínimo	Máximo	Nm	Nres
Tropical Úmido	0,630	0,067	1,3	303	6
Tropical Seco	0,295	0,070	1,1	230	5

Nm = número de medidas;

Nres = número de reservatórios amostrados.

Fonte: EPE, 2007 (adaptado a partir de IPCC 2006).

No Plano Decenal apresentado pela EPE (2007) foram contabilizadas as emissões de 74 hidrelétricas, sendo que algumas outras usinas não foram contabilizadas devido à ausência de informações sobre as áreas de seus reservatórios. Nas projeções realizadas pela EPE (2007) as emissões de gases de efeito estufa alcançarão um patamar de 15,8 Mt de CO₂e em 2016, sendo previsto um aumento significativo das emissões a partir do ano de 2013, devido à entrada em operação de 14 usinas.

Para os objetivos desta tese optou-se por trabalhar com os dados fornecidos no trabalho da COPEE/MCT de 2006. Para isto foi calculada a média das emissões por unidade de energia (MWh) a partir dos dados contidos na Tabela 2.6. O valor de CO₂ obtido neste caso foi de 0,024 t/MWh ou 24 g/kWh.

Emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de energia elétrica de origem eólica

A energia elétrica pode ser gerada a partir da energia cinética contida nos ventos. Uma vez que esta energia esteja disponível, pode-se gerar hidrogênio por via eletrolítica. O que se destaca aqui é a fonte primária, cujo potencial tem sido muito estudado, dada a possibilidade de obtenção de energia elétrica em lugares onde outras fontes de energia não estão disponíveis. É importante ressaltar que o sistema eólico empregado exclusivamente para a geração do hidrogênio é mais simples que o utilizado na geração comercial de energia elétrica (Silva, 1991). A quantidade de hidrogênio produzido vai variar conforme a energia fornecida pelos ventos.

Embora as turbinas eólicas não produzam poluentes atmosféricos durante a fase de operação, reconhece-se que nas outras fases do ciclo de vida ocorrem emissões, com ênfase para a fase de processamento e manufatura dos materiais e dos componentes das turbinas eólicas. Silva (2006), citando vários autores, contabiliza na produção dos equipamentos, transporte e instalação, entre 7 e 10 g/kWh de CO₂.

O trabalho apresentado por Wachsmann (2004) no X Congresso Brasileiro de Energia é o que apresenta números específicos para o Brasil. Lenzen e Wachsmann (2003) desenvolveram um estudo sobre os impactos da variabilidade geográfica na análise de ciclo de vida para um mesmo modelo de turbina eólica, sendo que dois sistemas estavam instalados no Brasil (Ceará e Paraná) e um outro na Alemanha. Os autores também levaram em conta o caso de parte da turbina ter sido manufaturada na Alemanha e apenas a operação no Brasil, e também a condição de toda a turbina ter sido desenvolvida e operada no Brasil.

Lenzen e Wachsmann (2003) apuraram que o CO₂ varia consideravelmente com a localização da produção da turbina eólica, sendo que quanto maior a produção dos componentes da turbina fosse feita no Brasil, mais favorável seria o balanço de CO₂. Quando as turbinas são fabricadas no Brasil, as emissões de CO₂ chegaram a ser 5 vezes menores do que quando fabricadas na Alemanha. A Tabela 2.8 apresenta os dados obtidos para os vários cenários no Brasil.

Tabela 2.8 – Requisitos específicos de CO₂ na produção e operação de uma turbina eólica sob diferentes cenários no Brasil.

Cenário	L-44	L-55	PL-55	I-55	I-65
	g/kWh _{el}				
P&O Alemanha	45	48	61	81	77
P Alemanha O Brasil	15	16	20	27	26
P Alemanha e Brasil O Brasil	8	8	10	13	12
P&O Brasil	3	3	3	4	4

L = litoral (Ceará); I = interior (Paraná); PL = perto do litoral; O = operação e P = produção.

As notações 44, 55 e 65 representam as alturas das torres (em metros) para colocação da turbina.

Fonte: Adaptado de Lezen e Wachsmann, 2003 e Wachsmann, 2004.

O estudo de Spath e Mann (2004) pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) analisou o ciclo de vida para o hidrogênio renovável produzido a partir da energia eólica/eletrolise. Os autores apuraram que 95% das emissões que ocorrem são de CO₂ e que a fase de implantação da planta energética consome duas vezes mais recursos e energia, assim como gera duas vezes mais poluentes e lixo. Também concluíram que um aumento na eficiência da turbina ou do eletrolisador implicará redução no volume de recursos consumidos, emissões e energia gasta por quilo de hidrogênio produzido.

POST (2006) assume valores para as emissões de CO₂ referentes ao ciclo de vida de turbinas eólicas *onshore* como sendo de 4,64 g/kWh e de 5,25 g/kWh para turbinas *offshore*.

Emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de energia elétrica de origem solar fotovoltaica

A energia solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica através de células fotovoltaicas. A energia elétrica disponível poderá então ser empregada na geração de hidrogênio eletrolítico. Da mesma forma que a eólica, a energia solar também apresenta variações diárias de intensidade, o que implica variações diárias na produção de hidrogênio.

As maiores dificuldades do uso dos painéis fotovoltaicos estão relacionadas ao preço e a eficiência na produção de eletricidade, que está entre 10% e 25% para os painéis comerciais

(Gomes Neto, 2005). Os painéis utilizados pela NASA em projetos espaciais apresentam eficiências de até 35%, mas são ainda mais caros. Desde a década de 70 o custo desta tecnologia caiu mais de 50 vezes e sua eficiência triplicou (Gomes Neto, 2005), mas tem havido uma estabilização destes dois fatores, indicando que as tecnologias atuais estão chegando perto de seus limites.

O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante sua operação e é muito promissor como uma alternativa energética sustentável. Entretanto, gera impactos ambientais a serem considerados. Tanto a fabricação como a posterior disposição dos painéis e demais componentes dos sistemas causam emissões tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO₂, SO₂, NO_x, e particulados (Fraidenraich, 2003).

As emissões de CO₂ durante o ciclo de vida do sistema fotovoltaico é de 60 a 150 g/kWh para sistemas integrados à rede e de 280 a 410 g/kWh para sistemas autônomos (Serchuk, 2000 In: Fraidenraich, 2003). Fraidenraich (2003) considera que se houver redução do consumo de energia no processo de fabricação das células e se for viabilizado o uso de silício grau solar, os sistemas integrados à rede poderiam operar com níveis de emissão de CO₂ próximos a 30 g/kWh. Já os sistemas autônomos são prejudicados pelo uso de baterias, que devem ser trocadas periodicamente com 3 a 4 anos de uso, ou até menos, dependendo do tipo.

POST (2006) apresenta emissões de CO₂ de sistemas fotovoltaicos na Inglaterra como sendo de 58 g/kWh para tecnologias que utilizam módulos de silício cristalino. Estas emissões são significativamente menores na região sul da Europa, chegando a 35 g/kWh devido a alta insolação disponível.

Pacca, Sivaraman & Keoleian (2007) contabilizaram as emissões de CO₂, através da análise de ciclo de vida para dois sistemas fotovoltaicos: módulo PVL136 com filme laminado e módulo KC120 multi-cristalino. As emissões de CO₂ foram respectivamente de 34,3 e 72,4 g/kWh. Os autores avaliaram que alguns parâmetros como o nível de radiação solar, a intensidade de energia gasta na manufatura dos módulos, a posição dos módulos, a eficiência de conversão entre outros, afetam diretamente os resultados obtidos. Os autores também apresentaram uma tabela com

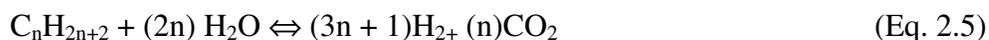
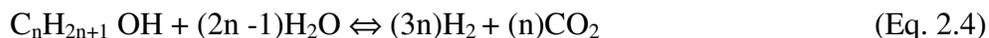
valores de emissões de CO₂, encontrados em referências bibliográficas, para as diferentes tecnologias de sistemas fotovoltaicos entre os anos de 1989 e 2003.

Já Fthenakis & Kim (2007) determinaram as emissões de GEE no ciclo de vida de tecnologias de sistemas fotovoltaicos para os Estados Unidos e Europa e encontraram valores de emissões de CO₂ que variavam entre 40 a 180 g/kWh. Ao considerarem apenas os Estados Unidos contabilizaram emissões de CO₂ com valores entre 22 a 49 g/kWh (média americana) e 17 a 39 g/kWh (região sudoeste americana). As eficiências de conversão elétrica utilizadas foram: 13,2% para módulos de silício policristalino, 14% para módulos de silício monocristalino e 11,5% para módulo de silício amorfo.

2.3.2 Biomassa (Reforma de Etanol)

Particularmente no caso da biomassa, essa opção é extremamente interessante para o Brasil, já que o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (Silva et al., 2003). As duas formas de obtenção do hidrogênio dessa fonte são a reforma vapor do etanol e a gaseificação do bagaço, sendo que a primeira é a de interesse desta tese.

A reforma é definida como a conversão catalítica e endotérmica de um combustível líquido, sólido ou gasoso para um gás combustível constituído por uma mistura de gases, entre eles o hidrogênio. A maioria dos processos utiliza hidrocarbonetos leves para a extração do hidrogênio. Os hidrocarbonetos leves são aqueles com cadeias carbônicas situadas entre o metano e a nafta, com pontos de ebulição inferiores a 250°C. Esses compostos podem reagir com a água (processo denominado reforma a vapor) a temperaturas entre 800 e 900°C em presença de catalisadores, resultando numa mistura de gases contendo principalmente H₂, CO, CO₂ e CH₄ (Silva, 1991). As reações estequiométricas para o caso geral de álcoois e hidrocarbonetos são dadas, respectivamente, pelas Equações 2.4 e 2.5 (Camargo, 2004).



A partir desta mistura de gases, a obtenção do hidrogênio é feita através do tratamento e processamento desta mistura, separando-o dos demais gases. No que diz respeito aos processos de purificação do hidrogênio produzido pela reforma do etanol, as maiores atenções estão voltadas à remoção do CO, reduzindo-o a níveis de partes por milhão ($\mu\text{mol/mol}$) quando for destinado ao uso em células a combustível e o tipo de célula utilizada assim o requerer (caso das células tipo PEMFC). Também é preciso remover o CO₂, pois apesar de não contaminar os elementos das células afetam seu desempenho, ao reduzir a área de contato dos eletrodos com o hidrogênio (Camargo, 2004).

É importante ressaltar que mesmo ocorrendo emissões de CO₂ durante o processo de reforma o balanço final é praticamente zero, pois o etanol é produzido a partir de uma biomassa que durante o seu crescimento absorveu CO₂ da atmosfera.

Emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de etanol

O uso de biomassa é geralmente classificado como carbono neutro porque o CO₂ gerado durante a transformação da mesma é equivalente ao CO₂ absorvido durante seu crescimento. Entretanto outros *inputs* durante o ciclo de vida podem afetar o balanço de carbono da biomassa como, por exemplo, emissões na produção de fertilizantes, colheita, secagem e transporte da produção (POST, 2006).

Macedo, Leal & Silva (2004) realizaram um estudo sobre as emissões de gases de efeito estufa na produção e uso do etanol no Brasil. Para isto consideraram dois cenários:

- Cenário 1 - baseado nas médias de consumo de energia, nos insumos e nos investimentos;
- Cenário 2 - baseado nos melhores valores praticados (valores mínimos de consumo, com o melhor uso da tecnologia existente e praticada na região).

Para avaliar a mitigação de GEE no ciclo de vida do etanol produzido a partir de cana-de-açúcar foi adotado pelos autores o conceito de produção exclusiva de etanol nas unidades

produtoras, como se a produção ocorresse exclusivamente nas destilarias autônomas. Esta mitigação corresponde à redução do fluxo de emissões de GEE obtida a partir da produção e uso de etanol (substituindo a gasolina). Desta forma a mitigação é a diferença entre o fluxo de emissões que ocorreria se não houvesse a produção e o uso do etanol e o uso do etanol e o fluxo real com etanol (ambos nas condições atuais do Brasil). Para a análise do ciclo de vida foi utilizado um volume de controle correspondente às áreas de produção agrícola da cana de açúcar, à destilaria, incluindo o uso final do etanol.

Para facilitar os cálculos, Macedo, Leal & Silva (2004) dividiram os fluxos de emissões de GEE em quatro grupos:

Grupo 1 – Fluxos associados à fixação de carbono atmosférico por fotossíntese e à sua liberação gradual por oxidação. Segundo os autores este fluxo é considerado praticamente neutro, pois admite-se que todo o carbono fixado é liberado novamente dentro do ciclo de produção de cana de açúcar e na utilização final do etanol.

Grupo 2 – Fluxos associados ao uso de combustíveis fósseis na produção de todos os insumos agrícolas e industriais para a produção de equipamentos (agrícolas e industriais) e construção de prédios e instalações. Estes fluxos são negativos, pois contribuem para o aumento das emissões.

Grupo 3 – São os fluxos não associados ao uso de combustíveis fósseis, que são principalmente o NO_2 e o CH_4 , embora outros GEE de menos importância possam ocorrer. Estes fluxos também são negativos.

Grupo 4 – São os fluxos chamados virtuais. Eles correspondem às emissões de GEE que ocorreriam se, na ausência do etanol, a demanda de combustível fosse substituída pela gasolina automotiva, e na ausência do bagaço excedente fosse utilizado óleo combustível em outras indústrias.

A Tabela 2.9 apresenta os valores obtidos para as emissões do ciclo de vida do etanol.

Tabela 2.9 – Emissões de CO₂ no ciclo de vida do etanol

	Cenário 1 (média)	Cenário 2 (melhores valores)
Emissões	k/TC	
Combustíveis Fósseis	19,2	17,7
CH ₄ e N ₂ O, queima da palha	9,0	9,0
N ₂ O solo	6,3	6,3
Total	34,5	33,0
Emissões Evitadas		
Uso do bagaço excedente	12,5	23,3
Uso do etanol	242,5 (A) 169,4 (H)	259,0 (A) 180,8 (H)
Total de emissões evitadas	255,0 (A) 181,9 (H)	282,3 (A) 180,8 (H)
Emissões evitadas (valor líquido)	220,5 (A) 147,4 (H)	249,3 (A) 171,1 (H)

TC – Tonelada de Cana

A – Etanol anidro

H – Etanol hidratado

Fonte: Macedo, Leal & Silva, 2004.

As emissões de CO₂ evitadas (valores líquidos) por m³ de etanol podem ser obtidas através das produtividades e são respectivamente:

- Etanol anidro: 2,6 t/m³ (cenário 1) e 2,7 t/m³ (cenário 2)
- Etanol hidratado: 1,7 t/m³ (cenário 1) e 1,9 t/m³ (cenário 2)

Os autores recomendam utilizar os dados obtidos para o cenário 1 quando forem aplicados em estudos que envolvam GEE, por serem mais conservadores e representarem a situação atual.

2.4 Trabalhos relacionados com o tema

A questão do aquecimento global deixou de ser uma hipótese de cientista e se tornou um dos temas mais urgentes nas agendas dos governos mundiais a partir da publicação do último relatório do IPCC (2007). Com a constatação das emissões antropogênicas e da construção de cenários tão pessimistas, torna-se necessário buscar alternativas que possam minimizar os impactos causados. Buscar soluções que contribuam para a redução das emissões no setor de

transporte é uma delas. A seguir são apresentados alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil que de alguma forma contribuem para entender e facilitar o enfrentamento deste problema no setor de transporte, especificamente de veículos leves.

Ribeiro et al (2000) realizou um estudo onde descreveu a contribuição do setor de transporte nas emissões de CO₂. Foi constatado que no Brasil as emissões geradas pelos veículos do modal rodoviário, em 1998, respondiam por 90% das emissões totais de CO₂. Como medidas para reduzir o consumo de combustível e conseqüentemente as emissões, foram indicadas a utilização de:

- i) motores de combustão interna mais eficientes e bem regulados ;
- ii) combustíveis de melhor qualidade ou com menor teor de carbono;
- iii) combustíveis alternativos derivados de biomassa, hidrogênio em células a combustível;
- iv) veículos movidos a eletricidade;
- v) tecnologias para melhorar a fluidez do tráfego.

Ribeiro et al (2000) consideram como fatores decisivos no aumento da demanda por transporte o crescimento populacional, a renda e o número de veículos *per capita*. Também indicaram que os fatores que influenciam o consumo de energia e as emissões de CO₂ no transporte de passageiros são: o número de viagens realizadas, a extensão das viagens, o modo de transporte utilizado e o consumo de energia específico de cada modo de transporte. Os autores concluíram que o transporte rodoviário é o menos flexível a mudanças, pois o transporte de passageiro depende de alterações nos padrões de qualidade das viagens e também de mudanças no estilo de vida da população.

Dubeux (2007) analisou as implicações das ações de mitigação de emissões de GEE nos níveis de carga de poluição local nas cidades brasileiras, de modo a conhecer o potencial de redução de emissões de GEE e as conseqüências locais das principais opções de mitigação. A partir da análise da capacidade de intervenção das prefeituras nas fontes de emissões de poluentes foi proposta uma seleção de fontes de emissões, assim como os respectivos GEE diretos e

indiretos para ser objeto das ações de planejamento das administrações municipais. Então foram propostos cenários de mitigação de GEE para permitir a identificação das opções de mitigação e respectivos benefícios locais. Para isto utilizou-se a frota de veículos leves de São Paulo como estudo de caso para identificar as emissões de poluentes locais e globais.

Para o estudo da emissão da frota de veículos leves Dubeux (2007) utilizou a metodologia *Bottom-up*, que considera o tamanho e a idade da frota local, a distância percorrida anualmente pela frota e o tipo de combustível. Também determinou dois cenários: o Cenário A (Linha de Base) que projeta os dados sob a hipótese de que a prefeitura nada fará para modificar esta tendência; e o Cenário B (Alternativo) baseado na hipótese de que a prefeitura municipal, por intermédio de ações sob sua responsabilidade, promoveria a redução de 10% da distância média percorrida por cada veículo a partir de 2008. O estudo considerou os veículos leves a gasolina, álcool, *flex-fuel* e a gás natural veicular, e as seguintes emissões: CO, HC (hidrocarbonetos totais), RCHO (aldeído), CO₂ e NOx. As projeções dos dados foram até o ano de 2020.

O resultado deste estudo indicou uma frota de aproximadamente 5,7 milhões de veículos na cidade de São Paulo em 2020. O cenário alternativo das emissões de CO₂, CO e RCHO apresentou quedas nos valores, devido ao ganho de eficiência, sendo que o NOx se manteve constante enquanto que o HC apresentou crescimento nas emissões. Dubeux chama a atenção para o fato dos poluentes locais não apresentarem uma redução linear tal qual as do CO₂ e NOx, que são resultados direto do consumo de combustível. ou seja, uma redução na distância percorrida pela frota apresenta uma redução proporcional destas emissões. Já os poluentes locais dependem da idade da frota, que é um parâmetro ajustável através da aplicação da Taxa de Sucateamento¹⁹.

Com relação a participação dos veículos a álcool, Dubeux (2007) ressalta que é pouco provável que a utilização deste combustível seja aceita como proposta de MDL para o Brasil, pois a penetração ocorreu de forma espontânea através dos veículos *flex-fuel* a partir de 2003. Ela também chama atenção para o fato do NOx em veículos *flex-fuel* não ter apresentado aumento

¹⁹Uma análise mais detalhada sobre a Taxa / Curva de sucateamento é apresentada no Capítulo 3.

significativo, pois o uso de gasolina nestes veículos (baixa emissão de NOx) compensou as emissões do álcool, quando comparadas com as emissões dos veículos a gasool²⁰.

Debeux (2007) conclui seu trabalho discorrendo sobre a importância das municipalidades realizarem estudos e inventários de emissões de gases, tanto os GEE quanto os poluentes locais, que podem afetar significativamente a qualidade de vida da população. Para tanto é necessário utilizar as metodologias recomendadas pelo IPCC, ajustadas às necessidades locais. Recomenda para o caso dos veículos rodoviários a utilização da metodologia *Bottom-up*, que permite identificar tanto os GEE quanto os poluentes locais.

Castro (2007) demonstrou a possibilidade de redução de GEE no setor de transporte através de projetos de MDL, sendo que para isto utilizou como estudo de caso o único projeto registrado na UNFCCC para o setor de transporte público, o *Bus Transit Rapid* de Bogotá. Neste trabalho ele buscou verificar as características e adequação ao MDL, assim como identificar os desafios e as barreiras para a implementação de um projeto de MDL Programático²¹.

Cita como principal barreira para o desenvolvimento do MDL, de um modo geral, a comprovação da adicionalidade do projeto, pois existe uma grande controvérsia em torno deste tema. Segundo Castro (2007) os métodos de avaliação de adicionalidade têm sido criticados por sua complexidade, pelos altos custos e pela falta de padronização, além de alongar o processo de aprovação dos projetos. Ainda existe, no caso do setor de transporte, a necessidade de reduzir as emissões de GEE em fontes móveis, que são de difícil monitoramento, e estão sujeitas a mudanças de políticas públicas que podem impactar os projetos.

Para Castro (2007) o MDL Programático torna-se uma opção para equacionar as questões de adicionalidade e também para estabelecer as linhas de base para projetos que envolvam o setor

²⁰ Gasolina C: 78% de gasolina + 22% de álcool (v/v).

²¹ É denominado desta forma por abranger programas de atividades de projeto. A aceitação de programas no âmbito dos projetos de MDL foi decidida durante a COP 11/MOP-1 realizada em Montreal, Canadá, através do documento *'Further Guidance Relating to the CDM'*: "Decide que as políticas ou padrões locais/regionais/nacionais não podem ser consideradas como atividades de projeto de MDL, mas que atividades de projeto desenvolvidas sob os programas podem ser registradas individualmente como atividades de projeto de MDL..." (Castro, 2007). Como exemplos de programas elegíveis podem ser citados: programas para estabelecimento de padrões de eficiência energética; programas de substituição de combustíveis de origem fóssil por outros oriundos da biomassa, programas de implementação de fontes renováveis de energia e racionalização de sistemas de transporte.

de transportes. Ele considera que esta modalidade de MDL se adequa de forma consistente, uma vez que os governos e grupos setoriais controlam todos os instrumentos legislativos e/ou reguladores para definir as políticas e normas que podem incrementar a eficiência energética e reduzir o impacto ambiental dos veículos.

Neste seu trabalho, Castro entende que esta modalidade de MDL também é uma oportunidade para a inclusão dos países em desenvolvimento, uma forma de incentivar o engajamento e o comprometimento com o futuro regime climático, pois a democratização da descarbonização só pode ser atingida através da transferência de tecnologias mais limpas para substituir aquelas baseadas em fontes de energia não renováveis.

Estudo realizado por Araújo (2004) propôs a introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível a hidrogênio na cidade de São Paulo como uma forma de reduzir as emissões de poluentes (CO, HC, NO_x, SO_x). Para isto foram determinados três cenários de introdução para a nova frota de veículos. Como se esperava, observou-se que o impacto da introdução de veículos novos com células a combustível teve maior significância em um cenário radical, onde todos os veículos novos eram substituídos por veículos com células a combustível. Também foi possível observar que com as medidas impostas pelo PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores), a partir da década de 90, as emissões de poluentes permaneceriam em queda até o ano de 2020. Por outro lado, foi observado que por ser a frota de São Paulo compostas por veículos muito antigos, existia uma tendência de aumento das emissões após 2020 se nenhuma outra medida fosse introduzida, além do PROCONVE. Outra observação importante foi que as tecnologias aplicadas apenas a veículos novos demoram muito tempo para fazer surtir o efeito esperado, devido ao aumento de emissões por parte dos veículos que já se encontram em uso (frota antiga).

Esteves (2007) ampliou o estudo realizado por Araújo (2004) até o ano de 2025 e trabalhou com os veículos com células a combustível a hidrogênio como opção para mitigar os custos de saúde pública devido ao setor de transporte. Ela comprovou em seu trabalho, através de índices estatísticos, a relação poluente/internação/custo. Esteves (2007) reforçou em seu trabalho a conclusão de Araújo (2004) que os dados de emissão da frota de veículos leves licenciada

evidenciam que medidas tomadas há 30 anos ainda têm seus efeitos nos dias atuais e que medidas tomadas hoje terão seus reflexos daqui a 30 anos. Enfatizou a necessidade de se começar o quanto antes a adoção de medidas de reduções das emissões, pois seus resultados tardarão a ser observados pela sociedade, ainda que para isso a sociedade tenha que pagar um custo mais alto.

Dos trabalhos descritos percebe-se claramente a necessidade de propostas concretas para o setor de transporte que efetivamente reduzam a emissão de GEE, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida nos grandes centros urbanos (diminuição dos poluentes) e no planeta (redução da emissão de GEE). A análise quantitativa das reduções de GEE por parte da nova frota de veículos na cidade de São Paulo permitirá estimar o volume de carbono evitado e qualificar ou não este programa como uma atividade de projeto de MDL.

Capítulo 3

Metodologia

A metodologia utilizada para avaliar o uso energético do hidrogênio produzido por fontes renováveis para aplicação veicular no contexto do MDL constou de seis etapas. Inicialmente, foi feito um tratamento nos dados disponíveis da frota de veículos leves (álcool, gasolina e *flex-fuel*) da CSP, que abrangeram o período de 1996 a 2006. A seguir foi realizada a projeção da frota até o ano de 2025, sendo para isto utilizada duas metodologias, uma a partir da projeção linear da frota e a outra baseada no índice de motorização da CSP. Com essas projeções foram então quantificadas as emissões de CO₂ para a frota projetada, de 2005, adotado como ano-base, a 2025. Após esses cálculos foram determinados três cenários de introdução das frotas de veículos novos com CaCs para a CSP, calculando-se a redução das emissões de CO₂ em cada caso, levando-se em conta o consumo de hidrogênio obtido de diferentes fontes renováveis e as respectivas emissões de CO₂ para sua produção. A seguir foram calculadas as emissões evitadas de CO₂, sendo então estimados os créditos de carbono que serão obtidos com a introdução dos veículos com CaCs. Cada uma destas etapas está detalhada na Figura 3.1, que é um fluxograma com os passos necessários ao desenvolvimento desta tese.

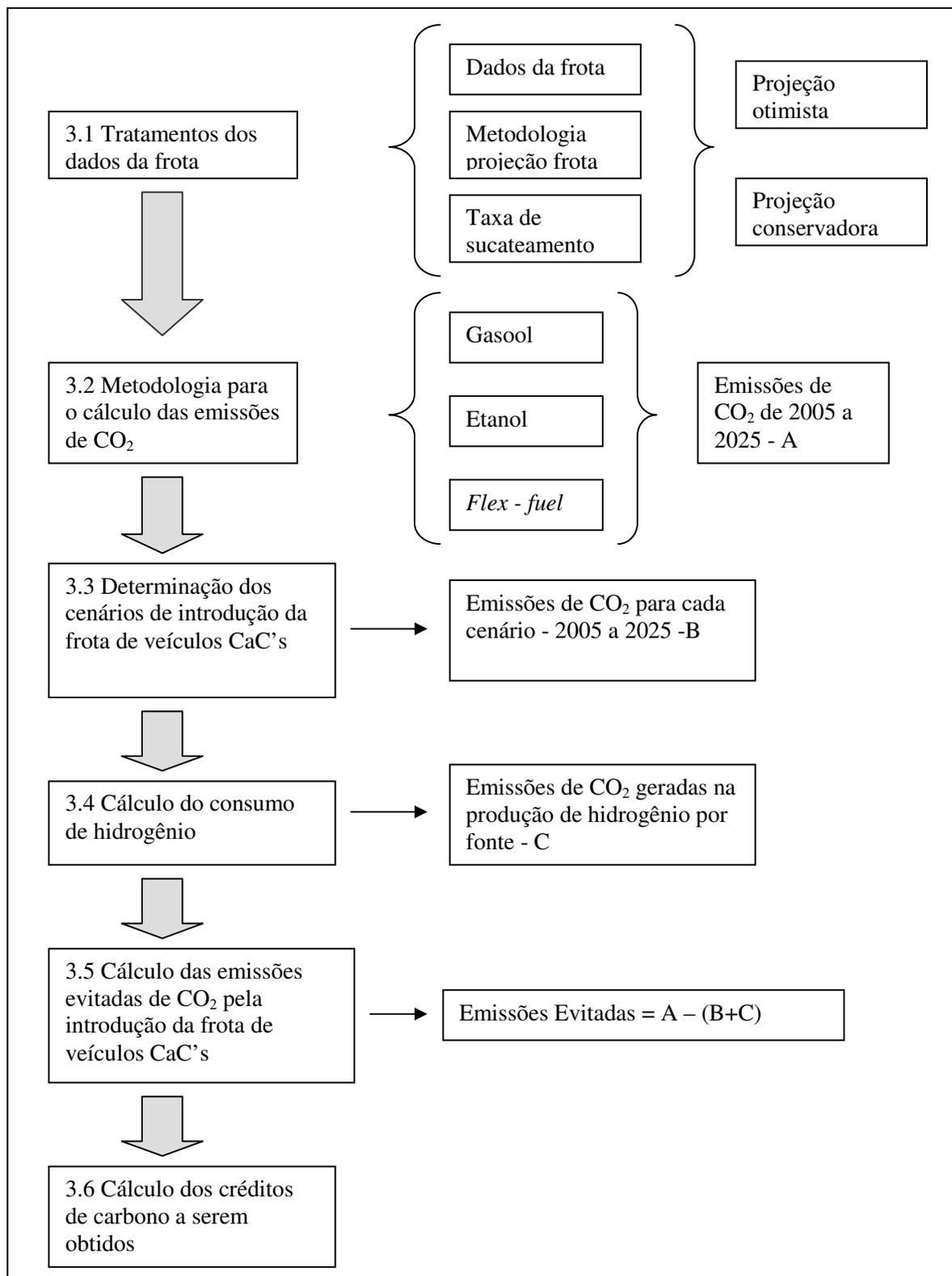


Figura 3.1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.

3.1 Tratamento dos dados da frota

3.1.1 Dados da frota

A frota de veículos circulantes em uma determinada cidade apresenta uma variedade de tipos (veículos leves ou de passeio, veículos médios, pesados, ônibus, motos e outras classificações), sendo que para cada tipo há uma grande quantidade de marcas e modelos, com características de potência, consumo de combustível, emissões de poluentes e gases de efeito estufa, existindo ainda para cada modelo diferentes idades, como já mencionado. Neste trabalho será analisada apenas a frota de veículos leves da CSP.

A quantidade de veículos em circulação, por categoria, não é de fácil determinação, uma vez que uma cidade se caracteriza por ser um sistema aberto, onde veículos estão a todo momento entrando e saindo de seu perímetro urbano. Entretanto, uma boa aproximação pode ser feita supondo-se que as quantidades de veículos que entram e saem diariamente em média são as mesmas. Desta forma, torna-se plausível utilizar-se para quantificar a frota de veículos licenciados na cidade. Evidentemente que há exceções a esta hipótese, como no caso das chamadas cidades-albergues, nas quais boa parte da população residente exerce suas atividades diárias em uma outra cidade próxima, de forma que a maioria dos veículos lá licenciados deixam a cidade logo pela manhã para retornarem somente ao final do dia. Da mesma forma, esta outra cidade vai apresentar uma situação particular, pois possuirá muito mais veículos em circulação do que os licenciados.

Esta hipótese apresenta diferentes resultados para os diferentes tipos de veículos. Por exemplo, no caso de veículos pesados pode haver grandes distorções se a cidade considerada se caracteriza por ser um pólo de distribuição de produtos, como ocorre com a cidade de Paulínia/SP, onde se localiza a Refinaria do Planalto de Paulínia (REPLAN), que recebe diariamente um enorme contingente de caminhões que transportam derivados de petróleo. Por outro lado, pode-se supor que as motocicletas permanecem muito mais tempo em circulação na própria cidade onde são licenciadas, dadas as dificuldades de se utilizar estes veículos para o traslado diário entre cidades. Esta tese aborda a CSP que, como maior cidade do país, possui a

maior frota de veículos leves, recebendo diariamente um grande fluxo de veículos leves, mas havendo igualmente uma elevada quantidade de veículos que deixam a cidade por diversos motivos e finalidades, o que é confirmado pelo fluxo de seus veículos que trafegam nas rodovias de acesso à cidade todos os dias.

Para determinar a frota de uma cidade é preciso, portanto obter dados dos veículos licenciados naquela cidade para o ano base em questão. Também é necessário obter a série histórica dos veículos licenciados. Esta série histórica deverá trazer os dados de forma desagregada de acordo com o ano de uso dos veículos que compõe a frota. Isto é importante porque permite checar a consistência dos dados e também verificar se a curva de sucateamento utilizada está próxima da realidade dos dados históricos, como será visto mais adiante.

3.1.2 Metodologia para projeção da frota

Conforme mostrado por Araújo (2004), a introdução de inovações em veículos novos, sejam relativas ao uso de combustíveis ou às emissões atmosféricas, tem impactos significativos somente décadas após o início do processo de substituição de uma tecnologia por outra. Assim sendo, os estudos desta natureza exigem a projeção das frotas de veículos e suas respectivas características por períodos de 20 a 30 anos, quando não mais. Em geral considera-se um período de aproximadamente 30 anos para a substituição total de uma frota de veículos (Araújo, 2004), caso todos os veículos novos venham a possuir a nova tecnologia. Se apenas uma fração dos veículos novos incorpora a inovação, o período para conversão de toda a frota poderá ser bastante superior, dependendo do percentual de veículos novos que possuam a nova tecnologia.

Portanto estes estudos exigem não apenas a projeção da frota, com a totalidade dos veículos, mas também como estão distribuídos os veículos por ano, ou seja, é necessário se conhecer a quantidade de veículos com cada ano de vida, devendo este período se estender a pelo menos os veículos com até 30 anos. Desta forma a projeção da frota deverá contemplar também as projeções para cada um dos anos de fabricação dos veículos.

Evidentemente que a projeção da frota total se constitui em tarefa mais fácil, porém não menos complexa, exigindo uma série de considerações acerca da melhor metodologia para isto, bem como a adoção de diversas hipóteses que proporcionarão um melhor ou pior resultado. Para isso deve-se dispor de uma boa base de dados para a frota de veículos da região considerada em função do tempo (anos), com o maior período de tempo possível, se bem que as mudanças tecnológicas, a evolução das características sócio-econômicas das populações e outros fatores acabam por modificar as condições de aquisição e uso dos veículos, de forma que períodos muito longos acabam por prejudicar as projeções. Períodos entre 10 e 20 anos são bastante razoáveis como base para as projeções da frota.

Apesar de existirem várias metodologias para as projeções da frota, todas podem ser agrupadas em duas categorias: cenários tendenciais e cenários específicos. No primeiro caso não se faz nenhuma hipótese de modificação do perfil de aquisição e utilização dos veículos, mantendo-se a tendência verificada no período considerado. No segundo caso são feitas hipóteses específicas, baseadas em premissas verificadas ou imaginadas, direta ou indiretamente relacionadas ao setor de transporte, que irão modificar significativamente o perfil da frota de veículos. Neste trabalho serão consideradas apenas as metodologias tendenciais.

Dispondo-se de uma base de dados adequada, o estabelecimento de um cenário tendencial poderá ser feito de forma direta, através do estabelecimento de uma função (equação) do número de veículos existentes por ano, para o período disponível, utilizando esta equação para se obter os valores para os anos do período projetado (Esteves, 2007, Ferreira, 2007). Sendo N o número de veículos existentes em cada ano t_i da base de dados, compreendendo n anos, então a função f que descreve a evolução da frota é expressa pela Equação 3.1.

$$N(t_i) = f(t_i) \quad t_1 \leq t_i \leq t_n \quad (\text{Eq. 3.1})$$

e a projeção para os $(n - m)$ anos t_i' subseqüentes proporcionará os correspondentes valores anuais N' da frota futura, conforme a Equação 3.2,

$$N'(t_i') = f(t_i') \quad t'_{n+1} \leq t_i' \leq t'_m \quad (\text{Eq. 3.2})$$

A qualidade dos valores futuros obtidos dependerá da qualidade do ajuste da função à base de dados, havendo necessidade, portanto de algum parâmetro que expresse essa qualidade, que em geral é fornecido pelas teorias estatísticas ou pelos programas computacionais de ajuste. Cabe lembrar aqui a necessidade de uma análise lógica realista sobre esses valores, uma vez que é comum que uma boa função de ajuste forneça projeções sem sentido físico ou com alguma base na realidade dos fatos, como se verá mais adiante.

A projeção tendencial da frota também pode ser feita de forma indireta, através de algum parâmetro relacionado ao número de veículos em circulação (conhecidos como fatores de intensidade), sendo mais utilizados neste caso o índice de motorização (número de veículos para cada 100 habitantes) ou o índice de veículos por PIB (ou Valor Agregado, no caso de cidades e regiões). Nesta metodologia, além da base de dados da frota anual, é necessário se dispor da correspondente base de dados do fator considerado, para o mesmo período de tempo (anos), iniciando-se com a determinação da função $g(t)$ para o fator F , como expressa a Equação 3.3:

$$F(t_i) = g(t_i) \quad t_1 \leq t_i \leq t_n \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Em seguida se determina a correlação (função f) entre o indicador e a frota de veículos, como na Equação 3.4:

$$N(F) = f(F) \quad F_1 \leq F \leq F_n \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Desta forma o número de veículos da frota é uma função composta da variável temporal (Equação 3.5), ou seja,

$$N(F(t_i)) = f(g(t_i)) \quad t_1 \leq t_i \leq t_n \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Assim sendo, primeiramente o indicador é projetado para o período de interesse (t') (Equação 3.6), seguindo-se a aplicação da correlação entre o número de veículos e o indicador para se obter a frota projetada para o mesmo período (Equação 3.7):

$$F'(t_i') = g(t_i') \quad t'_{n+1} \leq t_i' \leq t'_m \quad (\text{Eq. 3.6})$$

$$N'(F'(t_i')) = f(g(t_i')) \quad t'_{n+1} \leq t_i' \leq t'_m \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Também é necessária neste caso a análise de sentido físico e de realidade para cada uma das projeções, tanto dos valores futuros do indicador como para os valores da frota obtidos.

3.1.3 Taxa de sucateamento

As metodologias descritas anteriormente podem ser utilizadas para a projeção da frota de veículos, ou seja, do número total existente (licenciados) em uma cidade, região ou estado. Entretanto, como já afirmado anteriormente, para os estudos aqui realizados apenas o número total de veículos não é suficiente, sendo necessário se conhecer a composição etária da frota, ou seja, quantos veículos existem para cada ano de fabricação, quantos possuem um ano de uso, dois anos, três, etc.. Evidentemente que neste caso não cabe aplicar a metodologia descrita acima para ano de fabricação dos veículos e depois projetar cada ano para compor a frota total, principalmente porque parte dos veículos saem de circulação todos os anos, seja por acidentes, roubos, descarte (desmanche e sucata), etc.

Portanto, a necessidade de se conhecer a distribuição dos veículos por ano exige a adoção de uma nova abordagem. Inicialmente deve-se adotar uma idade máxima para os veículos em circulação, por exemplo, uma idade hipotética de 10 anos. Assim, os veículos de cada ano estão distribuídos ao longo destes 10 anos, cuja soma será o total de N existentes no ano t_i , conforme a Equação 3.8:

$$N(t_i) = \sum [(P_j/100).N(t_i)] \quad \text{em } t_i \quad (\text{Eq. 3.8})$$

onde P_j é a percentagem de veículos com “j” anos, lembrando que P_1 corresponde aos veículos novos do ano 1 e que P_{31} é 0%.

Fosse a distribuição dos veículos iguais para cada ano, P_i corresponderia a 1/11 por ano. Mas isso não ocorre, uma vez que o número de veículos mais novos (1 ou 2 anos) praticamente são os veículos que entram na frota em seus respectivos anos, sendo que para eles as taxas de

sucateamento são muito pequenas. Da mesma forma, como a taxa de sucateamento é maior para os veículos mais antigos, seus números se reduzem rapidamente. Para um determinado ano o número de veículos com aquele ano na frota será o número que foi introduzido como veículos novos naquele ano, menos todos que foram sucateados até o momento considerado. Portanto é necessário se conhecer como este sucateamento se processa em função do tempo.

Como a taxa de sucateamento (T_j , em %) deve ser nula para os veículos com zero anos e 100% para os veículos com 10 anos, a função mais simples para descrever esta distribuição é a linear mostrada na Tabela 3.1, que pode ser expressa pela Equação 3.9

$$T_j = 9,09.j \% \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Apesar destes valores não expressarem a realidade da frota, servem como parâmetro médio para análise dos valores a serem utilizados.

Tabela 3.1- Distribuição linear da taxa de sucateamento

Ano (idade do veículo)	Taxa de sucateamento (%)
0	0
1	9,09
2	18,18
3	27,27
4	36,6
5	45,45
6	54,54
7	63,63
8	72,72
9	81,81
10	90,90
11	100

Fonte: Elaboração própria.

Portanto, uma vez que uma determinada quantidade de veículos novos é licenciada em um determinado ano, seu número irá decaindo com o tempo, permanecendo na composição da frota por 10 anos, praticamente desaparecendo depois deste período. No ano seguinte nova quantidade de veículos novos será incorporada, sendo que o acréscimo efetivo à frota será esta quantidade subtraída do total de veículos sucateados, neste caso a soma do ano 1 ao 10, conforme expressa a Equação 3.10:

$$N(t_i) = N(t_{i-1}) + N_o(t_i) - \sum[(T_j/100).N(t_j)] \quad \text{em } t_i \quad (\text{Eq. 3.10})$$

sendo $N_o(t_i)$ o número de veículos novos no ano t_i (licenciados neste ano) e a somatória efetuada de $j=0$ a $j=i-1$.

Para a projeção da composição da frota, o número total de veículos pode ser estimado a partir da metodologia de cenários, já exposta. As quantidades de veículos retirados de circulação, conhecidas as taxas de sucateamento, dependem apenas da composição do último ano da série histórica do banco de dados da frota. Assim sendo, a grandeza a ser obtida é a projeção do número de veículos novos a ingressarem por ano na frota, que é exatamente o principal fator para que se possa verificar o efeito da introdução de uma nova tecnologia no setor automotivo, desde que esta tecnologia seja aplicada unicamente nos veículos “zero quilômetros”.

3.2 Metodologia para o cálculo das emissões de CO₂

Segundo as diretrizes do IPCC, as emissões de GEE de fontes móveis são mais bem calculadas pela quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões equivalentes de CO₂ (método *top-down*). O cálculo do inventário dos GEE pela quilometragem anual e pelo consumo teórico de combustível, em litros por quilômetro - ou a partir dos fatores de emissão - (método *bottom-up*), pode ser menos preciso que pelo consumo global anual de combustível (*top-down*). Portanto a escolha da metodologia dependerá da qualidade dos dados primários locais existentes. O IPCC incentiva os especialistas a desenvolverem fatores de emissões locais para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE, visando à aferição dos resultados e, conseqüentemente, à melhoria da qualidade da informação (Álvares JR & Linke, 2002).

Para esta tese optou-se pela metodologia *bottom-up*, que além de ser utilizada pela CETESB, também foi utilizada pelo MCT (2006) para desenvolver o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis.

Método bottom-up

A metodologia *bottom-up* foi desenvolvida pelo IPCC e permite identificar e quantificar as emissões de todos os gases liberados pelo escapamento dos veículos separadamente. Esta metodologia leva em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivos rendimentos (Mattos, 2001).

Os cálculos das emissões de CO₂ devem ser feitos através da Equação 3.11 (Álvares JR & Linke, 2002):

$$\text{Emiss}_i = \text{FE}_{iabc} \cdot \text{Atividade}_{abc} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

onde:

Emiss_i = emissões de um gás i (g/ano)

FE_i = fator de emissão do gás i (g/km)

Atividade = quantidade de energia consumida ou distância percorrida;

i = CO₂, CO, NO_x, CH₄, MP, N₂O;

a = tipo de combustível

b = tipo de veículo

c = tecnologias de controle de emissões

Para o cálculo a partir da quilometragem anual deve ser utilizada a Equação 3.12:

$$\text{Emiss}_i = F \cdot \text{FE}_i \cdot \text{QM} \quad (\text{Eq. 3.12})$$

onde:

F = número de veículos da frota

QM = quilometragem (distância) percorrida no ano (km/a)

A quilometragem anual, para os automóveis leves, na fórmula está diretamente relacionada com a idade do veículo como mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Distância média percorrida anualmente.

Idade	Distância Média Percorrida anualmente (km)
1	22.000
2	19.000
3	17.000
4	15.000
5	14.000
6	14.000
7	14.000
8	13.000
9	13.000
10	13.000
+11	9.500

Fonte: Álvares JR & Linke, 2002.

Gasool

Os fatores médios de emissão de CO₂ para veículos leves de passageiros equipados com motores do ciclo Otto movidos a gasool (é a gasolina com algum teor de álcool anidro, também conhecida como gasolina C) apresentados a seguir, foram obtidos pela CETESB em ensaios de emissão e consumo padronizados, conforme o ciclo brasileiro de condução definido pela norma NBR-6601, similar ao método americano FTP-75 (*Federal Test Procedure*), mediante o uso de gasolina aditivada com 22% de etanol anidro (combustível padrão para ensaios de emissão para fins de certificação do atendimento da legislação ambiental brasileira). Esse ciclo simula a viagem média dos veículos leves de passageiros em deslocamentos urbanos, combinados com estrada ou vias expressas (Álvares JR & Linke, 2002).

Os fatores de emissão de CO₂ de origem fóssil dos veículos a gasool no Brasil são mais baixos, quando comparados àqueles dos veículos movidos a gasolina pura, uma vez que o etanol anidro (aditivo com função oxigenante e anti-detonante) misturado à gasolina tem sua origem em fonte de energia renovável e não deve ser computado para fins de inventário de emissões de GEE. Entretanto, o IPCC recomenda que a parcela de CO₂ de origem renovável seja relatada (Álvares

JR & Linke, 2002). O cálculo estequiométrico para determinação da parcela de CO₂ de origem renovável se encontra no Anexo 1.

A Tabela 3.3 apresenta os valores médios dos fatores de emissão de CO₂ total medidos no laboratório de emissões veiculares da CETESB em veículos leves a gasool E22 submetidos a ensaios de emissão para fins de certificação do atendimento da legislação ambiental (PROCONVE). Considerando o E22, os fatores de emissão de CO₂ de origem fóssil apresentam uma redução de 15,8% em relação aos fatores de emissão de CO₂ total emitido, apresentados na tabela (Álvares JR & Linke, 2002).

Etanol hidratado

Os fatores médios de emissão de CO₂ para veículos leves de passageiros equipados com motores do ciclo Otto movidos a etanol hidratado, apresentados na Tabela 3.3, foram obtidos pela CETESB em ensaios de emissão e consumo padronizados, conforme o ciclo de condução da norma NBR-6601. Esse ciclo simula a viagem média de veículos leves de passageiros em deslocamentos urbanos combinados com estrada ou vias expressas (Álvares JR & Linke, 2002).

Deve-se considerar as emissões dos veículos a álcool hidratado como emissões renováveis, uma vez que o balanço dessas emissões no ciclo de produção e consumo de álcool é considerado nulo e, portanto, não contribui para o aumento da carga de GEE na atmosfera (Álvares JR & Linke, 2002). Como apontado no capítulo anterior, isto não é totalmente verdadeiro, pois existem emissões associadas à produção do etanol, mesmo que pequenas em relação ao total de emissões evitadas com o uso deste combustível.

Tabela 3.3 - Fatores de emissão de CO₂ para veículos leves¹.

Ano-modelo	Fatores de Emissão Total* (gCO ₂ /km)			
	Gasool	Álcool	<i>Flex</i> Gasool	<i>Flex</i> álcool
Pré- 80	175	164		
80 - 83	175	164		
84 -85	175	164		
86 - 87	175	164		
88	175	164		
89	175	164		
90	177	163		
91	179	163		
92	193	166		
93	193	166		
94	193	166		
95	207	165		
96	214	173		
97	217	175		
98	217	175		
99	217	175		
2000	217	175		
2001	217	175		
2002 ²	198	191		
2003 ³	194	183	210	200
2004 ⁴	190	160	201	190
2005 ⁵	192	160	188	180
2006 ⁶	192	200	185	177

1 – Médias ponderadas de cada ano-modelo pelo seu volume de produção.

2 – Para os modelos a gasolina predominam motores de 1.0L; para os a álcool, de 1.5 à 1.9L.

3 - Para os modelos a gasolina predominam motores de 1.0L; para os a álcool, de 1.0 à 1.8L. Nos veículos tipo *flex*, predominam motores de 1.6 e 1.8L. Parte da produção destes veículos foi ensaiada com gasolina C e parte com álcool carburante.

4 - Para os modelos a gasolina predominam motores de 1.0 e 2.0L; para os a álcool, de 1.0. Nos veículos tipo *flex*, predominam motores de 1.6 e 1.8L. Parte da produção destes veículos foi ensaiada com gasolina C e parte com álcool carburante. As maiores diferenças devido às cilindradas dos motores são sentidas no CO₂.

5 - Para os modelos a gasolina predominam motores de 1.0 e 2.0L; para os a álcool, de 1.0. Nos veículos tipo *flex*, predominam motores de 1.0 e 1.8L. Parte da produção destes veículos foi ensaiada com gasolina C e parte com álcool carburante. As maiores diferenças devido às cilindradas dos motores são sentidas no CO₂.

6 - Para os modelos a gasolina predominam motores de 1.0 e 2.0L; os modelos a álcool foram descontinuados, os valores são de um único modelo de 1.8L com produção da ordem de 500 unidades. Para os veículos do tipo *flex* há motores entre 1.0 e 2.0L. As maiores diferenças devido às cilindradas dos motores são sentidas no CO₂.

* - Observa-se nesta tabela, que os fatores de emissão de CO₂ aumentaram para os veículos na década de 90. Isso ocorreu devido à ação do PROCONVE, que induziu a implementação de melhorias tecnológicas nos veículos para o atendimento de padrões de emissão de poluentes mais rigorosos. A melhoria da eficiência dos motores e os catalisadores transformam as emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos em dióxido de carbono e água, aumentando, portanto, as emissões de CO₂ dos veículos mais novos.

Fonte: Elaboração própria a partir de MCT 2006 (dados de pré-80 até 92), Álvares JR & Linke, 2002 (dados de 93 até 2001) e Cetesb, 2007 (dados de 2002 até 2006).

3.3 Determinação dos cenários de introdução da frota de veículos CaCs

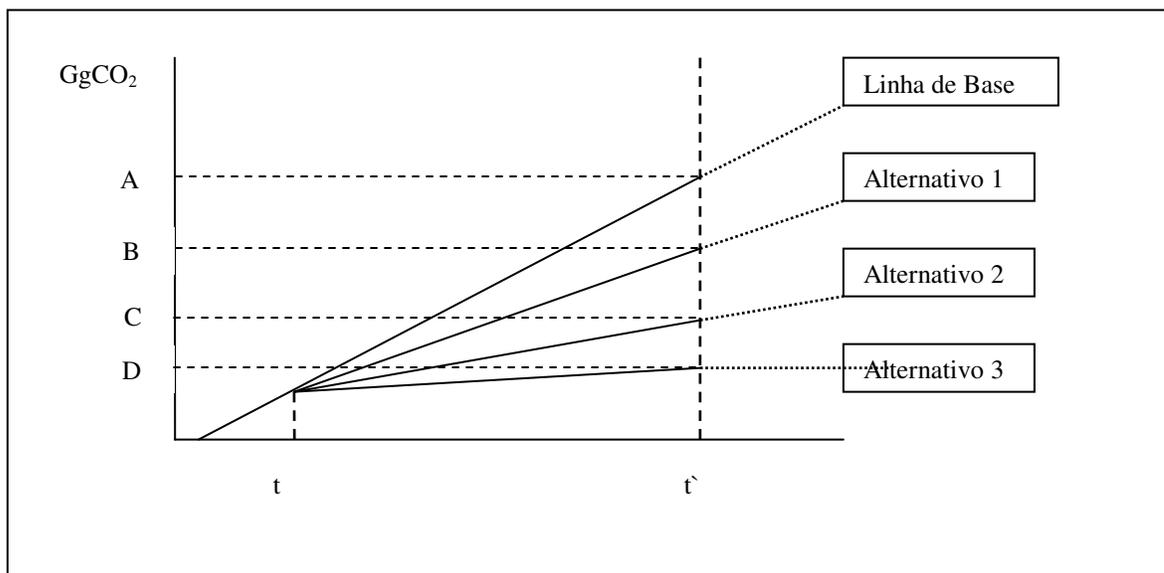
Ao elaborar cenários, deve-se ter a percepção de que não se tratam de previsões ou adivinhações sobre o que há de vir ou acontecer, e sim descrições organizadas das probabilidades “*do que poderá ocorrer*” no futuro, o qual, por sua vez, é caracterizado por ser indeterminado, incerto. Como se sabe, muitos dos eventos do futuro foram traçados devido às ações do passado. Portanto, uma imagem mais clara do que o amanhã poderá oferecer e do impacto que terão as decisões tomadas é imprescindível para criar, hoje, um melhor futuro para a humanidade. Desta forma a elaboração de cenários pode ser vista como descrições de um percurso, de trajetórias para possíveis futuros; caminhos através dos quais se exploram os diferentes resultados que podem ser obtidos se alguns critérios forem mudados (Scandiffio, 2005).

Portanto, a principal pergunta que um cenário pode responder não é o que acontecerá, e sim o que pode acontecer e como as pessoas podem reagir para enfrentar certos eventos. Por isto mesmo, a elaboração de cenários é entendida como sendo uma importante ferramenta para o planejamento a longo prazo, apresentando as informações mais relevantes na definição de caminhos alternativos e opções estratégicas que minimizam as pressões e dificuldades existentes no curto e médio prazo (Scandiffio, 2005).

Na elaboração de cenários torna-se possível a escolha de uma estratégia que considera as mais diversas situações visando atingir os objetivos estabelecidos. No mínimo, dois cenários contrastantes deverão ser elaborados: o primeiro deverá ser um cenário de linha de base, que

consiste na extrapolação das tendências da situação atual e considera que as condicionantes políticas e sociais não sofrem grandes mudanças. É conhecido como cenário tendencial ou “*business as usual*”. O segundo cenário visa a alteração da tendência, sendo, portanto o diferente do primeiro. Este cenário assume mudanças em uma ou mais das condições e considera que situação futura não será igual à situação atual. Pode-se ainda criar outros cenários, intermediários, conforme a visão do autor (Scandiffio, 2005).

A Figura 3.2 mostra uma representação gráfica simplificada da quantificação das emissões que podem ser estimadas e as respectivas reduções de CO₂ que pode ser obtida com a adoção dos cenários alternativos, quando comparados com o cenário de linha de base.



t = emissões calculadas no ano t

t' = qualquer tempo futuro

Figura 3. 2 – Cenários de linha de base e alternativos

Fonte: Adaptado de Dubeux, 2007.

Desta forma é possível determinar a partir dos cenários de introdução de frota de veículos CaCs:

- as emissões totais do cenário de linha de base no tempo t' (= A)
- as emissões totais no tempo t' com o cenário alternativo 1 (= B)
- as emissões totais no tempo t' com o cenário alternativo 2 (= C)

- as emissões totais no tempo t com o cenário alternativo 3 (= D)
- a redução total de emissões alcançadas no tempo t com o cenário alternativo 1 (= A – B)
- a redução total de emissões alcançadas no tempo t com o cenário alternativo 2 (= A – C)
- a redução total de emissões alcançadas no tempo t com o cenário alternativo 3 (= A – D)

3.4 Cálculo do consumo de hidrogênio

Para quantificar o consumo da frota de veículos CaCs, serão utilizados os dados de distância percorrida anualmente para cada modelo-ano multiplicado pela autonomia do veículo. A Tabela 3.2 apresenta as médias anuais de distâncias percorridas na Região Metropolitana de São Paulo. Álvares JR & Linke (2002) recomendam que na ausência de dados mais precisos de quilometragem anual sejam utilizados os valores desta tabela para os cálculos.

3.4.1 Cálculo das emissões de CO₂ geradas na produção de hidrogênio

De posse do volume de hidrogênio consumido será possível determinar as emissões geradas anteriormente, durante o processo de produção do hidrogênio.

Para as fontes renováveis: hidráulica, eólica e solar será realizada uma conta inversa que parte do volume de hidrogênio para se determinar a quantidade de energia elétrica necessária para gerar tal quantidade de hidrogênio.

Neste caso será utilizado como referência um eletrolisador com consumo específico de energia (CEE) de 5,4 kWh/m³ (Ferreira, 2007). A energia elétrica (EE) será calculada através da Equação 3.13:

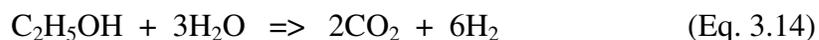
$$EE = CEE * VH \quad (\text{Eq. 3.13})$$

onde VH é o volume de hidrogênio consumido durante o ano, em m³.

Tendo-se a quantidade de energia elétrica requerida para a produção de hidrogênio, é possível então determinar para cada uma das fontes quanto de CO₂ que foi gerado

respectivamente para a produção da energia elétrica necessária para gerar o volume de hidrogênio requerido para abastecer a frota.

No caso da produção de hidrogênio a partir de biomassa (reforma de etanol) pode-se considerar a reação básica mostrada na Equação 3.14:



Através desta equação obtém-se 6 mols de hidrogênio para cada mol de etanol (uma relação molar de 1:6). Portanto, sabendo-se o volume de hidrogênio (VH) consumido pela frota é possível determinar o número de mols do hidrogênio e assim determinar, através da Equação 3.15, o volume de álcool (VE) necessário para abastecer estes veículos. De posse do volume de álcool, é possível estimar as emissões de CO₂ durante a produção do álcool requerido para abastecer a frota com hidrogênio.

$$\text{VE} = 0,4333 \cdot \text{VH} \quad (\text{Eq. 3.15})$$

3.5 Cálculo das emissões totais evitadas de CO₂

O cálculo do carbono evitado será estimado para cada uma das fontes de geração de hidrogênio para cada um dos cenários definidos. Este cálculo será realizado conforme a Equação 3.16:

$$\text{EmEv}_{(a, p, f)} = \text{ET}_{(a,p)} - (\text{EG}_{(a, p, f)} + \text{EH}_{(a,p, f)}) \quad (\text{Eq. 3.16})$$

onde:

EmEv = emissões evitadas (tCO₂);

ET = emissões no cenário tendencial (cenário A);

EG = emissões devido ao uso da gasolina em cada cenário (B, C e D);

EH = emissões geradas ao produzir hidrogênio;

a = ano;

p = projeção otimista ou conservadora;

f = fonte alternativa (hidráulica, eólica, fotovoltaica ou biomassa).

3.6 Cálculo dos créditos de carbono a serem obtidos

Os créditos gerados serão obtidos a partir da diferença entre as emissões obtidas no cenário A para cada projeção (otimista e conservadora) pelas emissões evitadas para cada cenário proposto a partir da fonte de geração de hidrogênio.

Capítulo 4

Quantificação das Emissões de CO₂ na Cidade de São Paulo de 2005 a 2025 – Frota atual e projetada

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3, referente aos itens 3.1 e 3.2. Com relação ao item 3.3, que trata da determinação dos cenários de introdução dos veículos com CaCs, por uma questão de logística optou-se por apresentá-lo no Capítulo 5, junto ao cálculo das emissões de CO₂ decorrentes da introdução da frota de veículos com CaCs. Também serão discutidos aqui alguns itens que foram questionados em trabalhos anteriores com temáticas próximas ao deste trabalho (Esteves, 2007; Ferreira, 2007), tais como a metodologia aplicada para determinar o índice de motorização utilizado para projetar a frota e a taxa de sucateamento para a frota de veículos leves na CSP.

4.1 Tratamento dos dados

4.1.1 Dados da frota da CSP

Conforme mostrado no Capítulo 3, a quantificação das emissões de CO₂ de uma frota de veículos exige o conhecimento não apenas do número total de veículos, mas sua distribuição por faixa etária, ou seja, quantos veículos existem por ano de uso. Para a projeção dessas emissões necessita-se também um histórico da evolução dessa frota, de forma que se tenha parâmetros para o uso das ferramentas estatísticas que produzam resultados seguros. A projeção da frota total pode se basear em cenários tendenciais ou específicos, sendo neste último caso comum se utilizar o crescimento do PIB ou Valor Agregado de um país ou região, bem como o índice de motorização associado à evolução esperada para a população. Como apenas a projeção da frota

total não é suficiente, é necessário ainda se dispor de mais dois dados fundamentais: a frota de veículos no ano base, indicando a quantidade de veículos por anos de uso (por exemplo, em um intervalo de 0 a 40 anos), e a taxa de sucateamento anual dos veículos nessa localidade, cidade ou região.

Em muitos casos, principalmente no Brasil, onde a falta de dados e as dificuldades de se obtê-los, quando existem, é uma constante em quase todos trabalhos de pesquisa, o uso dos veículos licenciados é a única fonte disponível. Esse é o caso aqui considerado, onde somente foi possível dispor dos dados dos veículos leves licenciados na CSP, dados estes que são de autoria da Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo (PRODESP) e foram liberados via e-mail pela CETESB em março de 2007. Esses dados se referem à frota total de veículos leves a álcool, gasolina e *flex-fuel* (veículos com motores bi-combustíveis, no caso álcool e gasolina) e estão mostrados na Tabela 4.1.

A Tabela 4.1 apresenta três fatores importantes que devem ser observados e levados em conta antes do uso destes dados para a projeção da frota de veículos da CSP. Estes fatores são:

I - Evolução da frota segundo a idade dos veículos. Na tabela pode-se acompanhar o que acontece com os veículos leves introduzidos em um determinado ano na frota, por exemplo, aqueles de 1996 (células em verde). Os valores vão diminuindo ano a ano, o que caracteriza a taxa de sucateamento destes veículos. Uma curiosa exceção pode ser observada, que é o aumento destes veículos a partir do primeiro ano. Isto é observado todos os anos (células cinza escura e cinza clara), indicando que nem todos os veículos “ano zero” foram licenciados no seu respectivo ano. A diferença aparece então no ano seguinte, com o aumento destes veículos. A partir daí a queda é constante, devido ao sucateamento.

Tabela 4.1- Quantidade e composição etária da frota de veículos leves da CSP.

Idade	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0	232.492	265.839	189.833	154.755	186.088	188.109	162.872	149.669	167.306	174.128	190.850
1	292.325	268.810	309.018	224.458	178.684	215.454	215.845	193.281	168.039	195.794	202.489
2	256.019	291.570	268.294	308.907	223.909	178.303	215.126	216.660	194.030	169.023	199.606
3	203.599	242.286	282.002	261.215	302.621	219.434	173.779	210.709	211.341	191.173	166.975
4	128.780	190.321	226.598	270.711	252.142	293.673	211.060	168.656	202.534	204.618	187.940
5	134574	119907	177353	214197	259920	243767	282179	206098	161499	194974	199158
6	131.436	121.707	111.751	167.825	204.426	250.991	234.414	275.129	198.660	155.117	189.933
7	146.330	111.479	112.897	105.899	160.020	197.026	241.168	227.765	263.862	191.649	151.121
8	137.944	124.776	103.644	107.072	101.173	154.660	190.618	235.300	218.878	253.435	187.402
9	104.226	117.688	116.660	97.951	102.688	97.874	149.807	186.554	227.066	210.645	248.175
10	166.689	89.684	110.432	110.514	94.167	99.529	94.980	146.646	180.911	219.137	206.472
11	150.711	145.023	84.306	104.907	106.412	91.509	97.096	93.139	142.704	175.180	215.452
≥12	1.659.168	1.658.385	1.723.997	1.742.353	1.803.051	1.884.131	1.955.543	2.039.527	2.117.023	1.729.408	1.896.631
Total	3.744.293	3.747.475	3.816.785	3.870.764	3.975.301	4.114.460	4.224.487	4.349.133	4.453.853	4.064.281	4.242.204
0 a 11%	55,7	55,8	54,9	55,0	54,7	54,3	53,8	53,2	52,5	57,5	55,3
≥ 12%	44,3	44,3	45,2	45,0	45,4	45,8	46,3	46,9	47,5	42,6	44,7
Total %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: PRODESP, 2007. Dados obtidos via e-mail através da CETESB.

II - Agrupamento dos veículos com idade superior a 11 anos. Como também se pode ver, os dados por faixa etária estão distribuídos ano a ano somente até 11 anos. A partir daí todos os veículos são agrupados em uma classificação maior ou igual a 12 anos. Esta classificação talvez esteja relacionada ao pagamento do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), cuja alíquota para veículos com mais de 10 anos é única, sendo que os veículos passam a ser isentos deste imposto a partir de 20 anos da data de fabricação.

Deve-se observar que a fração de veículos com mais de 12 anos é significativa, representando em média 45,8% do total dos veículos (Tabela 4.1).

III - Mudança na metodologia de contagem dos veículos. Por último, vale observar que nos dois últimos anos houve uma queda no número total de veículos da frota. Este fato foi devido

à mudança na metodologia de registro das licenças dos veículos, conforme foi apurado através da CETESB (2007)²². Este fato fica mais evidente quando a frota total de veículos é mostrada na forma do gráfico da Figura 4.1. Cada um destes fatores será objeto de análise nesta tese, de forma que a base de dados seja adequada aos propósitos estabelecidos.

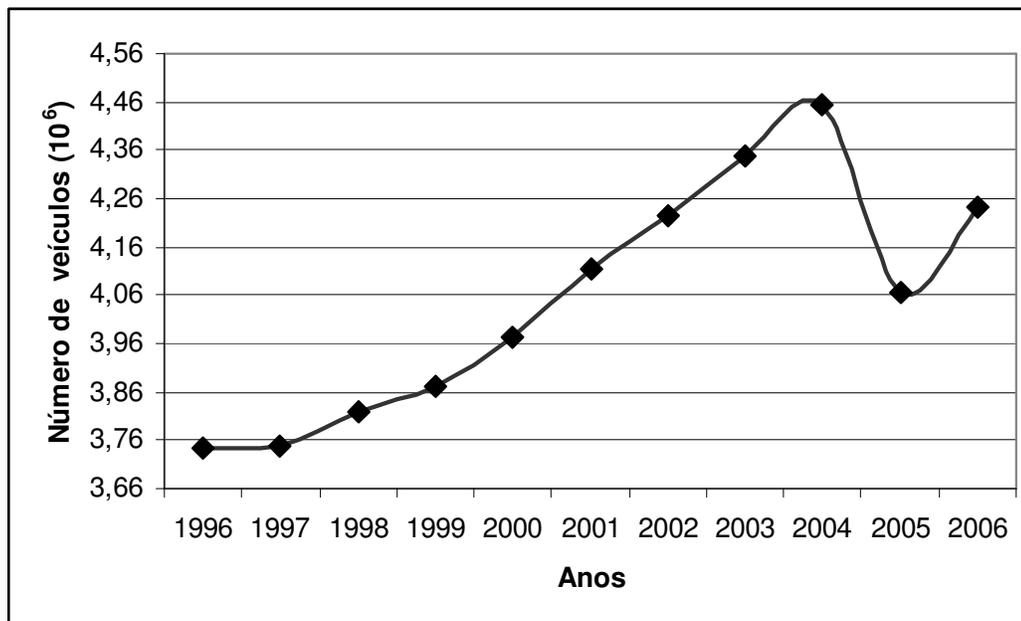


Figura 4.1- Frota de veículos leves da CSP no período 1996-2006.

Fonte: PRODESP, 2007.

I - Evolução da frota segundo a idade dos veículos

Percebe-se que não há lógica no aumento do número de veículos licenciados do “ano zero” (ano de aquisição e licenciamento) para o “ano 1” (veículos com um ano de uso), sem que situações especiais atuem na evolução natural da frota. O que se espera é que haja uma pequena diminuição, em vista do sucateamento, tomado como nulo no “ano zero” (perda do veículo no mesmo ano de sua aquisição), mas que com certeza existirá para os veículos do “ano 1”, mesmo que pequeno.

Assim sendo, supôs-se neste trabalho que o número inferior do “ano zero” se deveu à metodologia de registro dos dados, sendo necessária uma correção deste fator, cuja manutenção

²² Para 2005, a PRODESP realizou uma atualização no banco de dados de veículos registrados no Estado de São Paulo que ocasionou a redução numérica da frota considerada para o presente inventário.

implicará em distorções na análise dos dados, como poderá ser visto à frente, quando da determinação da taxa de sucateamento empírica, que resultará em taxas negativas. Para essa correção recorreu-se à taxa de sucateamento do “ano zero” para o “ano 1”, objeto de extensa análise adiante, que resultou no valor de 1,5% (1,5% dos veículos do “ano zero” deixaram a frota no “ano 1”). Portanto, conhecendo-se o número de veículos com um ano de uso (N_1) em um determinado ano (ano i), pode-se regredir para o número de veículos novos (N_0) no ano anterior (ano $i - 1$) através da Equação 4.1:

$$N_0(i-1) = N_1(i)/(1 - t_i) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

onde t_i é a taxa de sucateamento dos veículos com um ano de uso ($= 0,015$).

Aplicando-se esta correção aos dados da Tabela 4.1, obtêm-se os valores da Tabela 4.2, lembrando que a alteração do valor do número de veículos novos implica na modificação do número total de veículos da frota.

Tabela 4.2- Correção da quantidade de veículos leves novos da CSP.

Idade	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	272.904	313.724	227.876	181.405	218.735	219.132	196.224	170.598	198.776	205.573
1	292.325	268.810	309.018	224.458	178.684	215.454	215.845	193.281	168.039	195.794
Total	3.784.705	3.795.360	3.854.828	3.897.414	4.007.948	4.145.483	4.257.839	4.370.062	4.485.323	4.095.726
0-12	56,2	56,3	55,3	55,3	55,0	54,5	54,1	53,3	52,8	57,8
12 %	43,8	43,7	44,7	44,7	45,0	45,5	45,9	46,7	47,2	42,2
Total %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração própria, com base em PRODESP, 2007.

Este procedimento não pôde ser aplicado ao ano de 2006, pois ainda não se dispõe do valor correspondente a um ano de uso para o ano de 2007. Assim sendo, o ano base a ser adotado será o de 2005.

II - Agrupamento dos veículos com idade superior a 11 anos.

Como se pode verificar na Tabela 4.2, a correção dos valores do “ano zero” não alterou de forma importante a distribuição entre os 11 primeiros anos da faixa etária e o percentual com 12 ou mais anos, que agora tem uma média de 45,2% do total de veículos. Uma vez que é desta forma que os dados da frota estão disponíveis e que há a necessidade de se estabelecer a quantidade de veículos distribuídos por ano de uso, será necessário utilizar um procedimento para desagrupar os veículos com mais de 11 anos de uso, sendo que especial atenção deve ser dada nesta separação em vista de sua relevante participação no total da frota.

Inicialmente deve ser observado que para as projeções necessita-se apenas da distribuição para o ano de 2005, pois será sobre a frota desse ano que serão aplicados os cenários de projeção e as taxas de sucateamento. Entretanto, seria conveniente aplicar o procedimento a ser adotado também sobre a frota de 1996 e projetá-la para 2005, de forma a se verificar a qualidade das hipóteses adotadas. Neste caso, entretanto, uma dificuldade importante surge devido à mudança na metodologia de contagem da frota a partir de 2005, conforme já comentado. Então, para as análises de consistência pode-se imaginar que o ano de 2004 seria conveniente. Isto também não ocorre, pois o número de veículos corrigidos para o “ano zero” de 2004 utilizou o valor do “ano 1” de 2005, que também foram submetidos à mudança metodológica. Com tudo isso, a alternativa é se utilizar o ano de 2003 para se verificar a qualidade das metodologias consideradas.

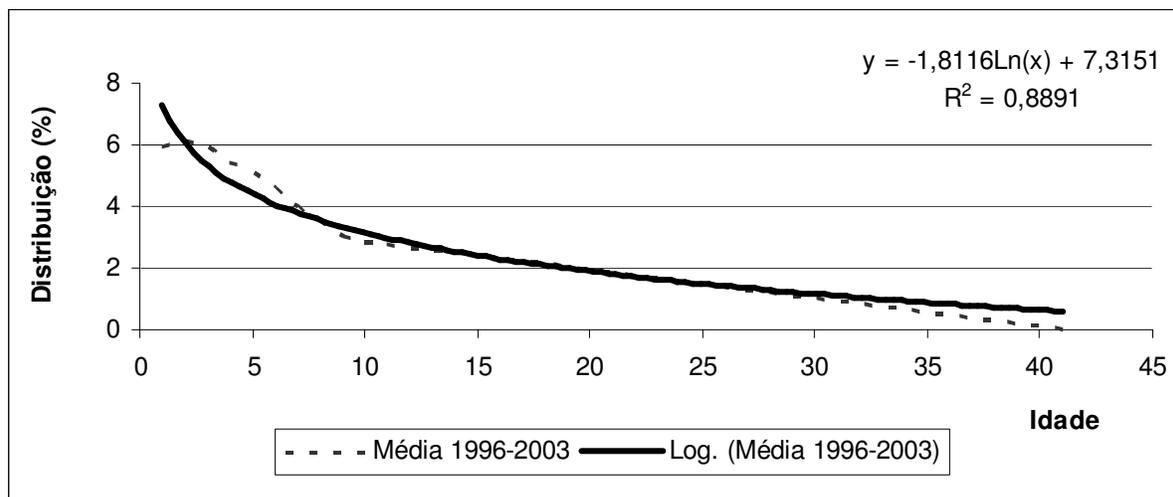
Como o número de veículos de um determinado ano é sempre decrescente (após as correções dos veículos novos), pode-se imaginar uma primeira aproximação onde uma distribuição linear é feita a partir do ano 11, decrescendo até zero no ano 41. Apesar de ser o mais simples, esse procedimento pressupõe uma taxa de sucateamento também crescendo linearmente neste período, o que não está de acordo com as curvas de sucateamento que vêm sendo adotadas em muitos trabalhos, como se verá adiante. Assim sendo, optou-se por analisar os dados disponíveis, de maneira a verificar a possibilidade de se obter uma (ou mais) curva empírica, extraída de cada série de cada ano.

Uma vez que para cada ano os valores numéricos da distribuição da frota são diferentes, o exame dos dados foi feito através do percentual de veículos em cada ano de uso em relação ao total, utilizando-se a tabela de dados com a correção do “ano zero”. A média da análise de todos os anos disponíveis (1996-2003) está mostrada na Figura 4.2.

Entre as alternativas disponibilizadas pelo programa Excel, a que melhor se ajustou aos dados foi a curva logarítmica, sendo necessário neste caso excluir o valor do “ano zero” ($x = 0$), pois neste ponto a função logarítmica não está definida. Com esse procedimento poder-se-ia utilizar também os dados de 2004, mas verificou-se que não haveria mudança significativa dos resultados e daria um tratamento diferente às curvas de ajuste. A equação da curva de tendência logarítmica será a curva utilizada nesta tese para desagregação dos dados da frota com idade superior a 11 anos. Os valores numéricos para cada ano, com as normalizações adotadas, estão no Anexo II, item AII.1.

Uma observação importante a ser destacada é que o procedimento aqui adotado buscou evitar a sobreposição de estimativas e projeções, de forma a reduzir ao mínimo as incertezas de todos os cálculos. Assim sendo, apesar de possível não se efetuou o desdobramento dos anos superiores a 11 anos de uso para depois se estabelecer a curva de sucateamento de todos os anos. A curva de sucateamento foi definida a partir dos dados da frota, com os anos 12 a 40 agrupados, sendo depois, em cada ano, feita a decomposição dos veículos neste período.

Figura 4.2- Tendência da distribuição etária dos veículos da frota da CSP.



Fonte: Elaboração própria.

III - Mudança na metodologia de contagem dos veículos.

Conforme a Figura 4.1 ilustrou, houve uma queda na frota total de veículos licenciados para a CSP entre os anos de 2004 e 2005. Segundo informações contidas no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB (2006 e 2007), isto foi devido a uma correção realizada pela PRODESP na forma de contabilizar a frota de veículos. Este fato cria um problema quando se pretende projetar a frota alguns anos a frente, como no caso desta tese, pois o “degrau” ocasionado impede que uma projeção tendencial, histórica, seja realizada de forma correta, já que não há seqüência na base de dados. Uma vez constatado que este problema foi de origem metodológica, pode-se entender que se a nova metodologia for aplicada retroativamente ela produzirá um “abaixamento” da curva no intervalo de 1996 a 2004, mantendo a tendência de crescimento observado. Esta tendência de crescimento também é verificada no período entre os anos de 2005 e 2006 (após a correção dos dados em 2005) como visto na Figura 4.1.

Para “deslocar” a curva é necessário determinar sua equação, que é fornecida pelos dados de 1996 a 2004. Utilizando a ferramenta de linha de tendência do Excel é possível determinar várias equações de ajuste para esta curva, sendo que neste caso a linha de tendência polinomial de grau 5 (Equação 4.2) foi a que melhor ajustou a curva da frota de veículos da CSP (maior R^2).

$$y = 104,29968.x^5 - 2725,11145.x^4 + 24864,15748.x^3 - 85138,79764.x^2 + 141250,88371.x + 3704381,75009 \quad (\text{Eq 4.2})$$

A partir da Equação 4.2 é possível calcular o valor da frota de CSP para o ano de 2005 (4.646.022). A diferença entre o valor obtido na Equação 4.2 e o valor fornecido pela PRODESP (4.095.726), deverá ser subtraída na Equação 4.2 para se obter a nova equação (Equação 4.3) que irá calcular a frota da CSP. A Equação 4.3 será utilizada para determinar o valor da frota de 1996 até 2004, sendo que o valor de 2005 deverá ser igual ao valor fornecido pela PRODESP.

$$y = 104,29968.x^5 - 2725,11145.x^4 + 24864,15748.x^3 - 85138,79764.x^2 + 141250,88371.x + 3154085,94690 \quad (\text{Eq 4.3})$$

A nova curva da frota da CSP será “paralela” à curva anterior, porém transladada para baixo. Os dados corrigidos, ano a ano, permitirão projetar a frota de veículos em um cenário tendencial a partir do ano de 2005, já levando em conta a nova metodologia do PRODESP. A tabela com os dados da frota corrigida encontra-se no Anexo II item AII.2 e apresenta os novos valores da frota total, enquanto a Figura 4.3 apresenta as curvas da frota antes da correção (de 1996 a 2005) e a curva corrigida.

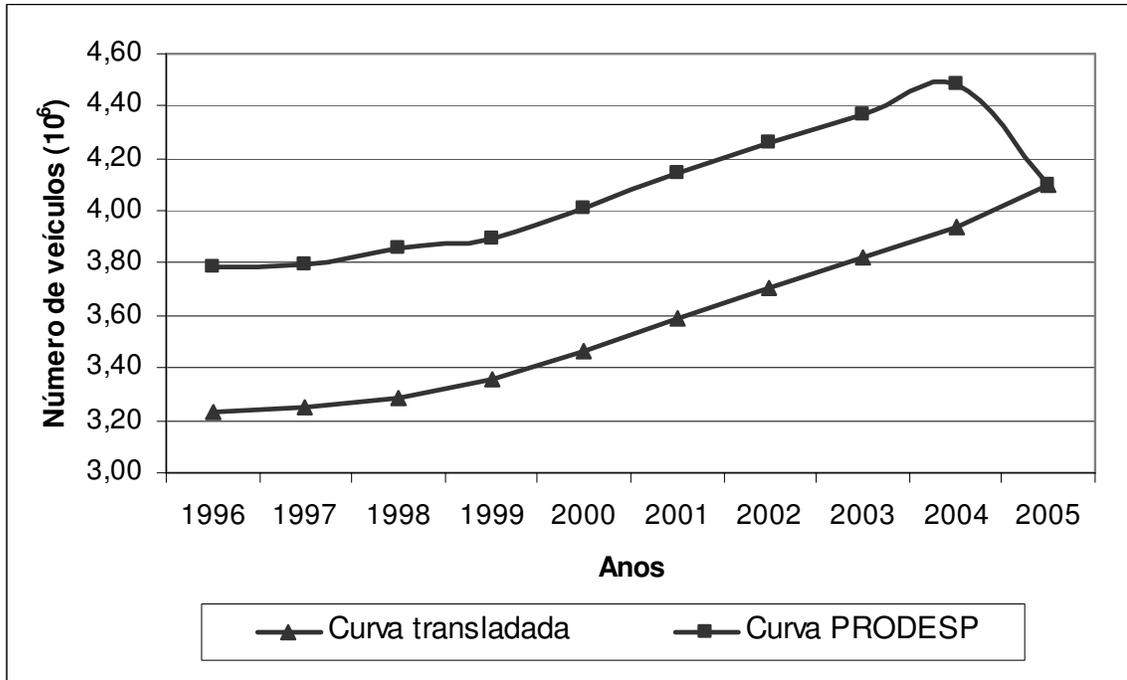


Figura 4.3 – Curva PRODESP x curva transladada.

Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Metodologia para projeção da frota

Como descrito no Capítulo 3, o primeiro passo para a projeção de dados de frota de uma determinada localidade é a disponibilidade de dados históricos que possam caracterizar o comportamento da frota durante certo período de tempo. Os dados históricos, como visto no item anterior, foram corrigidos para incorporar a nova metodologia de contagem dos veículos, sendo que a Figura 4.3 apresenta a frota da CSP. O ano base para a projeção será o ano de 2005 e a projeção irá até o ano de 2025.

Também, já mencionado no Capítulo 3, somente serão utilizadas metodologias de cenários tendenciais para a projeção da frota. O primeiro método apresentado será o método direto (item I), sendo apresentado num segundo momento o método indireto (item II) de projeção da frota da CSP.

I – Método direto de projeção da frota

No método direto, inicia-se a projeção da frota pela busca de uma função que ajuste os dados, conforme mostrado na Equação 3.1 (Capítulo 3), sendo que neste caso $n = 10$, $t_1 = 1996$ e $t_9 = 2005$.

Através de uma curva de ajuste é possível obter diversas funções de ajuste, buscando-se a escolha da melhor delas. No caso a qualidade do ajuste é, num primeiro momento, analisada pela função de R^2 . Todas as funções de ajuste foram calculadas no programa Excel, e estão descritas na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 – Funções de ajuste para a CSP.

Função	Equação	R2	Frota 2025
Linear	$y = 99251,95487x + 3028316,83138$	0,96547	6.005.875
Logarítmica	$y = 366991,91056\ln(x) + 3019882,86037$	0,77374	4.268.095
Exponencial	$y = 3061833,23163e^{0,02754x}$	0,97322	6.995.127
Polinomial grau 2	$y = 6974,82508x^2 + 22528,87899x + 3181762,98314$	0,99598	10.134.972
Polinomial grau 3	$y = -843,23282x^3 + 20888,16661x^2 - 41641,13861x + 3254112,35910$	0,99859	-1.963.058
Polinomial grau 4	$y = 143,12975x^4 - 3992,08732x^3 + 43932,05636x^2 - 104618,22861x + 3303234,48933$	0,99899	47.852.278
Polinomial grau 5	$y = 104,29968x^5 - 2725,11145x^4 + 24864,15748x^3 - 85138,79760x^2 + 141250,88367x + 3154085,94660$	1	929.240.896

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que a função logarítmica possui um R^2 menor que as outras funções, sendo então descartada da análise. No caso das funções polinomiais grau 2, 3, 4 e 5 os R^2 são quase equivalentes, apresentando os melhores ajustes. Conforme Esteves (2007) apurou, nem sempre um ótimo ajuste significa que aquela função também seja a melhor para uma análise prospectiva ou retrospectiva. Muitas vezes funções bem ajustadas podem acabar levando a valores fora da realidade. Baseado nisso, é preciso realizar também uma análise qualitativa das funções, através do cálculo de valores previstos para a frota no ano de 2025, cujos resultados também se encontram na Tabela 4.4.

De imediato pode-se ver que a equação polinomial de grau 3 conduz a um valor impossível em 2025, o mesmo acontecendo com a de grau 5 que, se não é impossível matematicamente, carece de sentido prático, estando, portanto ambas descartadas. Já as projeções obtidas com os polinômios de ordem 2 e 4 resultaram em valores bastante improváveis, caso se analise o resultado no que tange à população projetada pela Fundação SEADE para o ano de 2025 da cidade de São Paulo, que seria de 11.300.000 habitantes. Não é plausível supor que o índice de motorização, que para o ano de 2005 é de 37 para esta cidade, possa crescer em 20 anos mais de 9 vezes (para o polinômio de grau 4) ou mesmo que dobrar (para o polinômio de grau 2) pois como será visto mais adiante, existe uma tendência de que este índice estabilize próximo ao valor de 2005. Portanto, estas funções polinomiais foram desconsideradas. Das funções restantes (exponencial e linear) vê-se que a exponencial é a que possui maior precisão (maior R^2) e foi a equação escolhida. Nesse caso o índice de motorização previsto para 2025 será de 57 para CSP. Tal cenário será considerado otimista.

Considerando então a função exponencial, a função de projeção da frota terá a seguinte equação de ajuste dos dados para CSP:

$$N(t_i) = 3061833,23163. \exp[0,02754.(t_i)] \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Com base nas Equações 4.3 e 4.4 foi possível projetar a frota total da CSP até o ano de 2025, cujos resultados ano a ano estão apresentados na Figura 4.4. A tabela com os valores anuais para a frota até 2025 encontra-se no Anexo II item AII.3.

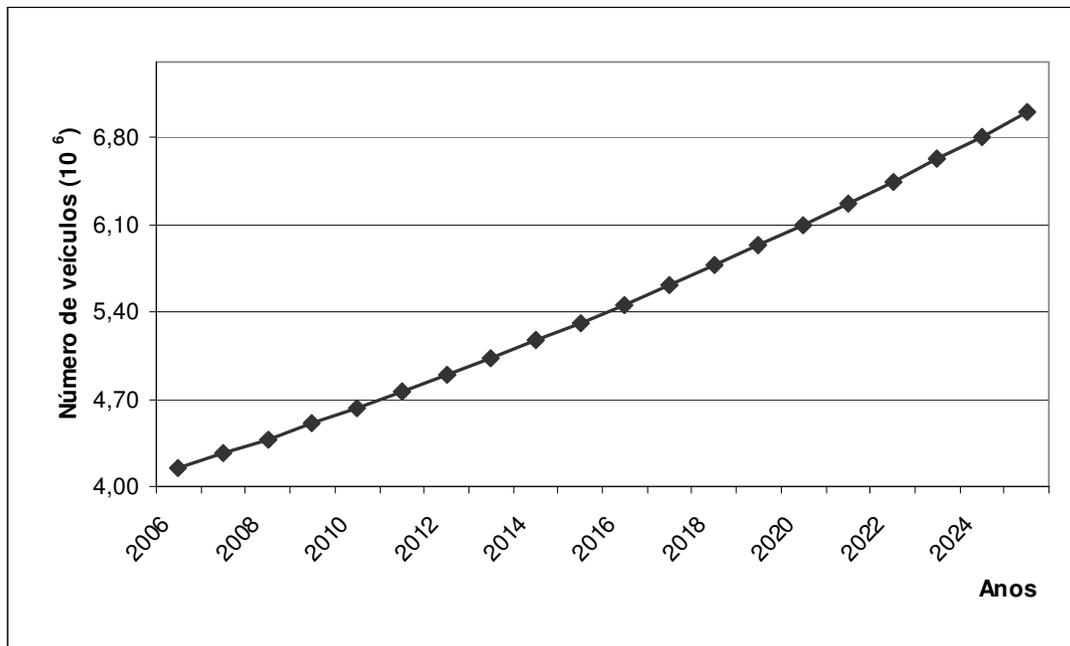


Figura 4.4 – Frota projetada para CSP até 2025 - Método direto.

Fonte: Elaboração própria.

II – Método indireto de projeção da frota

No método indireto, utiliza-se um parâmetro que possua alguma relação com o número de veículos em circulação. Na presente tese, o parâmetro utilizado foi o índice de motorização, que é a razão entre o número de veículos e a população local. Portanto, é preciso neste caso conhecer os dados da população de São Paulo e sua projeção até o ano de 2025. Existem duas fontes de dados da população da CSP. Tanto o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quando a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados do Estado de São Paulo (Fundação SEADE) disponibilizam estes números, assim como suas projeções.

No Anexo II item AII.4 é apresentada uma análise sobre a metodologia utilizada por cada uma destas instituições, assim como as tabelas com os valores para a população da CSP projetada até 2025. A Figura 4.5 compara os dados do IBGE com os da Fundação SEADE.

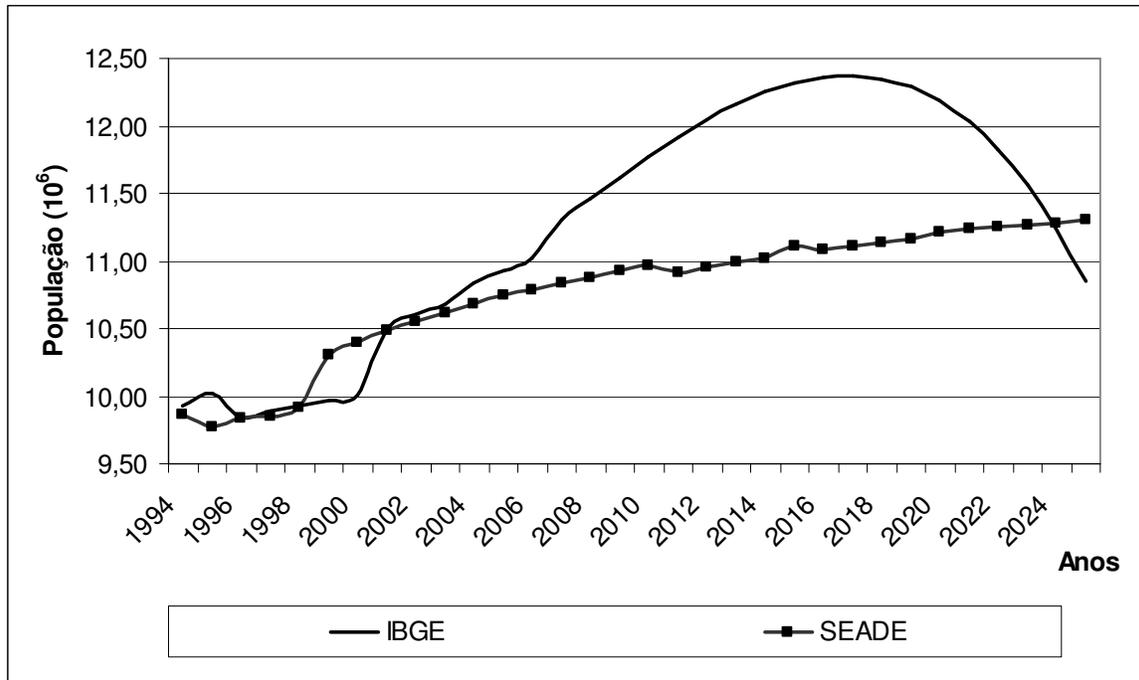


Figura 4.5 – Projeção da população de CSP até 2025.

Fonte: IBGE, 2007 & Fundação SEADE, 2007.

É preciso lembrar aqui que dados reais da população são obtidos apenas nos censos demográficos e nas contagens da população, cujo intervalo de tempo é em geral de 5 anos. Os demais anos são projeções de cada uma das instituições, que utilizam metodologias diferentes, levando a valores divergentes entre cada medição. O IBGE apresenta dados para a CSP até o ano de 2006; a partir de 2007 estes dados são obtidos da projeção realizada para o estado de São Paulo até o ano de 2020. Para os valores de 2021 até 2025 foi necessário determinar uma curva de ajuste para calcular os respectivos valores da população. Já os dados da Fundação SEADE são fornecidos até 2004, com projeções até 2009 e também para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025. Os dados entre os intervalos projetados foram determinados via interpolação linear.

A Figura 4.6 é uma ampliação de **dados** do IBGE e da Fundação SEADE para o período de 1994 a 2005. Através da curva apresentada na Figura 4.6 é possível perceber as diferenças metodológicas entre o IBGE e a Fundação SEADE. No ano de 1996 houve uma contagem populacional e percebe-se que neste ano as duas instituições apresentam dados bem próximos, o mesmo acontecendo para o ano de 2000, quando ocorreu o censo demográfico. A partir desta data os dados do IBGE apesar de superiores aos da Fundação SEADE, caminham bem próximos. É a

partir de 2006 que os dados do IBGE apresentam um crescimento expressivo em relação aos da Fundação SEADE, conforme ilustra a Figura 4.5, e que apesar de continuar crescendo, mantém uma taxa de crescimento menor. A partir de 2015 a curva apresenta uma inflexão que acelera o decréscimo da população sendo que em 2024 fica abaixo do valor projetado pela Fundação SEADE.

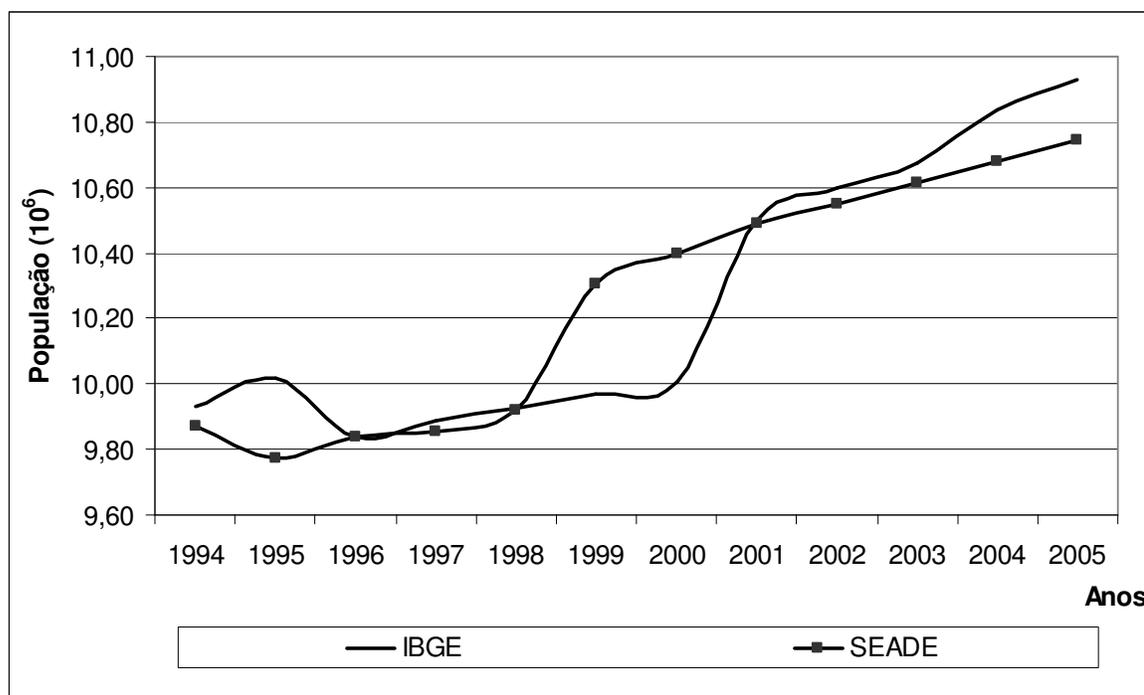


Figura 4.6 – Projeção da população da CSP pelo IBGE e Fundação SEADE no período de 1996 a 2005.

Fonte: IBGE, 2007 e SEADE, 2007.

Os dados apresentados pela Fundação SEADE apresentam uma taxa de crescimento quase constante do ano de 2001 até 2025. Concluiu-se que isto se deve ao fato dos dados da Fundação SEADE não terem sofrido tanta manipulação quanto os dados do IBGE tiveram que sofrer (Anexo II item AII.4). Percebe-se que os dados do IBGE são ajustados nos períodos de contagem da população. Portanto os dados da Fundação SEADE são os mais indicados para o uso no cálculo do índice de motorização. Além disso, esta tese busca fazer uma análise das emissões sobre o ponto de vista do MDL, sendo que este mecanismo apresenta como requisito que os dados sejam sempre conservadores. Portanto, optou-se por considerar os valores da população da

CSP fornecidos pela Fundação SEADE. A Tabela 4.4 apresenta o índice de motorização calculado a partir dos dados de população e frota de veículos.

Tabela 4.4 – Índice de motorização para a CSP - 1996 a 2005.

Ano	População CSP*	Frota CSP	Índice Motorização
1996	10.040.370	3.232.441	32,19
1997	10.134.220	3.254.682	32,12
1998	10.233.627	3.287.532	32,12
1999	10.333.057	3.357.349	32,49
2000	10.426.384	3.462.632	33,21
2001	10.489.159	3.586.542	34,19
2002	10.552.311	3.709.419	35,15
2003	10.615.844	3.821.294	36,00
2004	10.679.760	3.934.408	36,84
2005	10.744.060	4.095.726	38,12

* Dados Fundação SEADE, 2007.

Fonte: Elaboração própria.

Observando a Tabela 4.5 pode-se observar que o índice de motorização vem crescendo para a CSP. Nesse momento, dois caminhos podem ser seguidos: o primeiro deles é obter uma curva de crescimento do índice e projetá-lo até o ano de 2025, obtendo-se o número de veículos através da população projetada. O segundo caminho é utilizar a projeção populacional para o cálculo do número de veículos, adotando-se um determinado valor para o índice de motorização.

Como pelo método direto já se tem um índice considerado otimista, com 57 veículos para cada 100 habitantes, o mais interessante neste caso é formular uma hipótese conservadora, de que o atual índice de motorização permaneça constante em 38 veículos para cada 100 habitantes. Desta forma, a partir da população da CSP até 2025 projetada pela Fundação SEADE, apresentados anteriormente, determinou-se a frota de veículos da CSP até 2025. A Figura 4.7 apresenta a projeção da frota através do índice de motorização até o ano de 2025, sendo que no Anexo II item AII.5 encontra-se a tabela com os valores anuais da projeção.

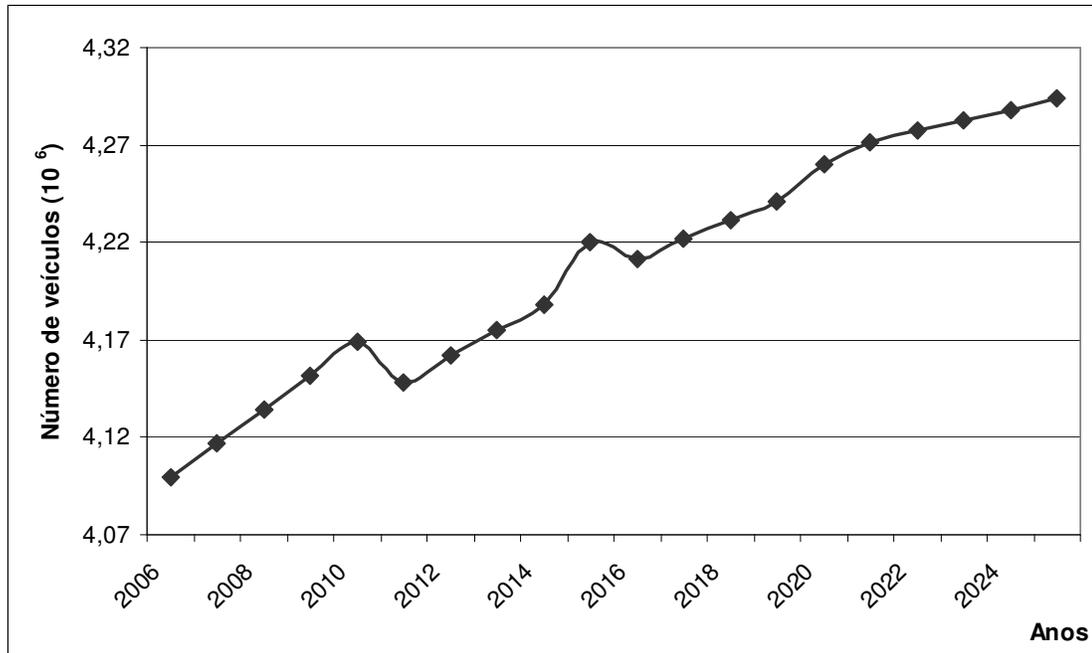


Figura 4.7 – Projeção da frota de veículos da CSP pelo índice de motorização.

Fonte: Elaboração própria.

Segundo Esteves (2007), tal resultado pode ser considerado bastante conservador, dado que a probabilidade do índice de motorização da CSP se manter constante nos próximos 20 anos é improvável. Isso só ocorrerá caso a economia brasileira passe por crises financeiras agudas que provoquem uma queda no poder aquisitivo da população. Baseado em tal observação, o cenário indireto será considerado um cenário pessimista. A figura 4.8 retrata a evolução dois dos cenários projetados para a cidade de CSP.

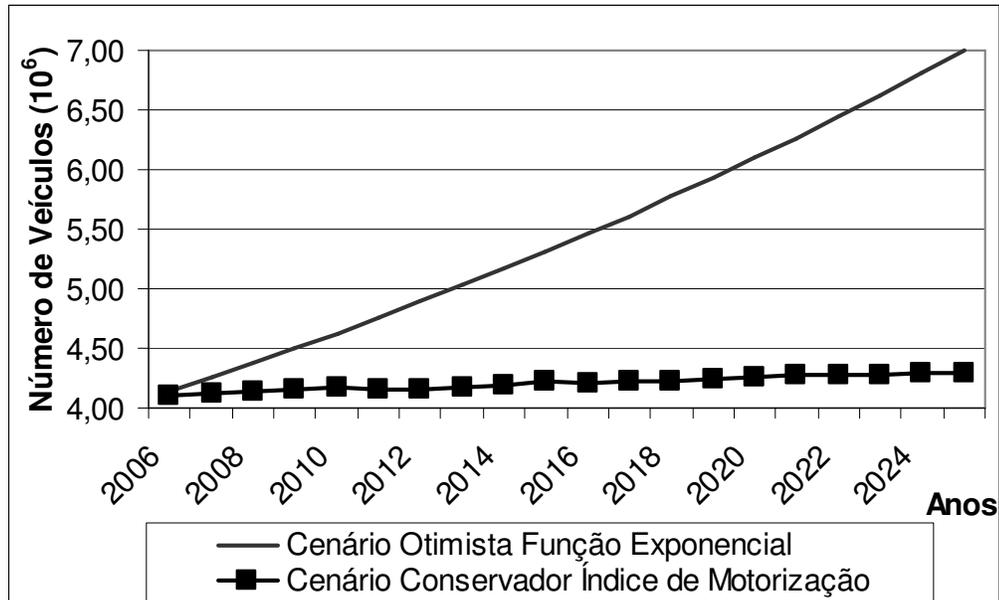


Figura 4.8 – Frota de veículos projetada para a CSP de 2005 a 2025.

Fonte: Elaboração própria.

4.1.3 Taxas de Sucateamento

Com relação à taxa de sucateamento, ela é fundamental para se determinar a futura composição etária da frota, bem como para que se possa estimar a quantidade de veículos novos de cada ano, que serão objeto de substituição por veículos sem emissões de gases de efeito estufa nesta tese. Algumas curvas de sucateamento estão disponíveis para o país, sendo consideradas aqui a curva do IPT (2001), baseada em estudos do Sindipeças e do GEIPOT visto na Figura 4.9, e a do MCT (2006), baseada em estudos da Petrobrás visto na Figura 4.10. Os valores numéricos de ambas as curvas e suas respectivas equações estão apresentadas no Anexo II, respectivamente itens AII.6 e AII.7.

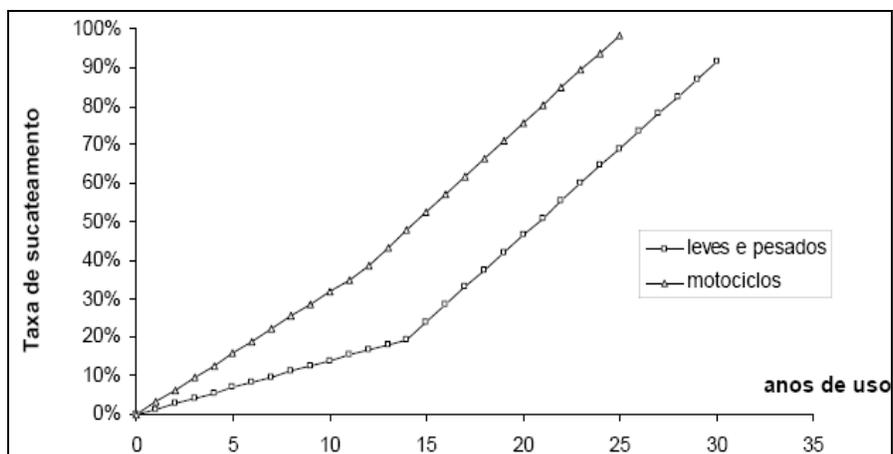
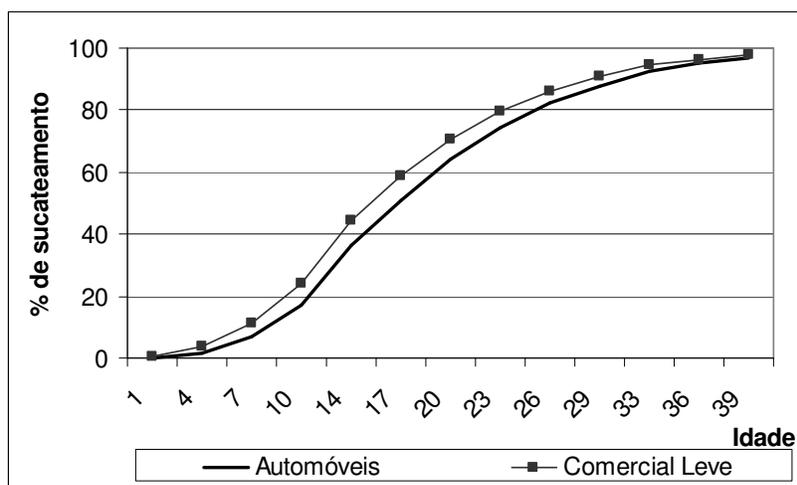


Figura 4.9 - Curva de sucateamento do IPT.

Fonte: IPT, 2001.

A comparação entre estas duas curvas está mostrada na Figura 4.11. Como se pode ver, há uma concordância nos valores de ambas as curvas apenas nos primeiros 10 anos e após os 30 anos. No intervalo intermediário, de 10 a 20 anos, a discordância ultrapassa 20% na maioria dos anos. Desta forma, existe a necessidade de se aprofundar na análise destas curvas, para que se possa escolher a curva mais adequada.



Obs.: os valores numéricos divergem daqueles obtidos através da curva de sucateamento indicada e que estão apresentados no Anexo II, item AII.7 desta tese.

Figura 4.10 - Curva de sucateamento do MCT.

Fonte: MCT, 2006.

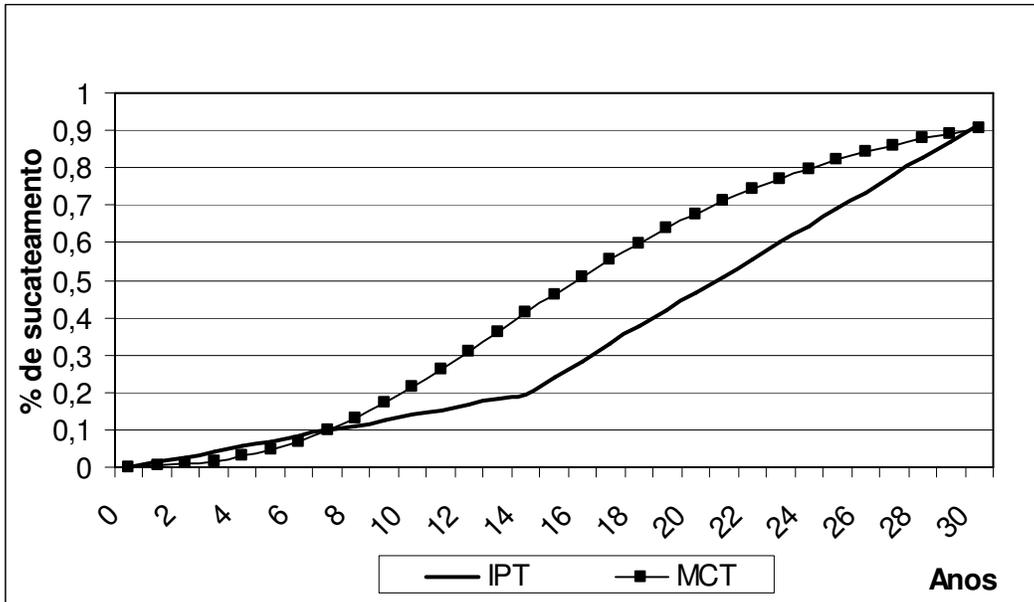


Figura 4.11 - Comparação entre as curvas de sucateamento do IPT e do MCT.

Fonte: Elaboração própria a partir de IPT (2001) e MCT (2006).

Como foi mencionado, ambas as curvas dizem respeito à frota nacional de veículos. Neste trabalho será considerada a frota da CSP, de forma que deve ser verificada a aplicabilidade destas curvas neste caso. Para isso, foram considerados os dados de 1996 a 2004 apresentados na Tabela 4.1, para os quais se calculou a taxa de sucateamento ano a ano. Os anos de 2005 e 2006 não foram utilizados, pois foram objeto de uma alteração metodológica, como mencionado. O resultado obtido está mostrado na Figura 4.12 (dado-original).

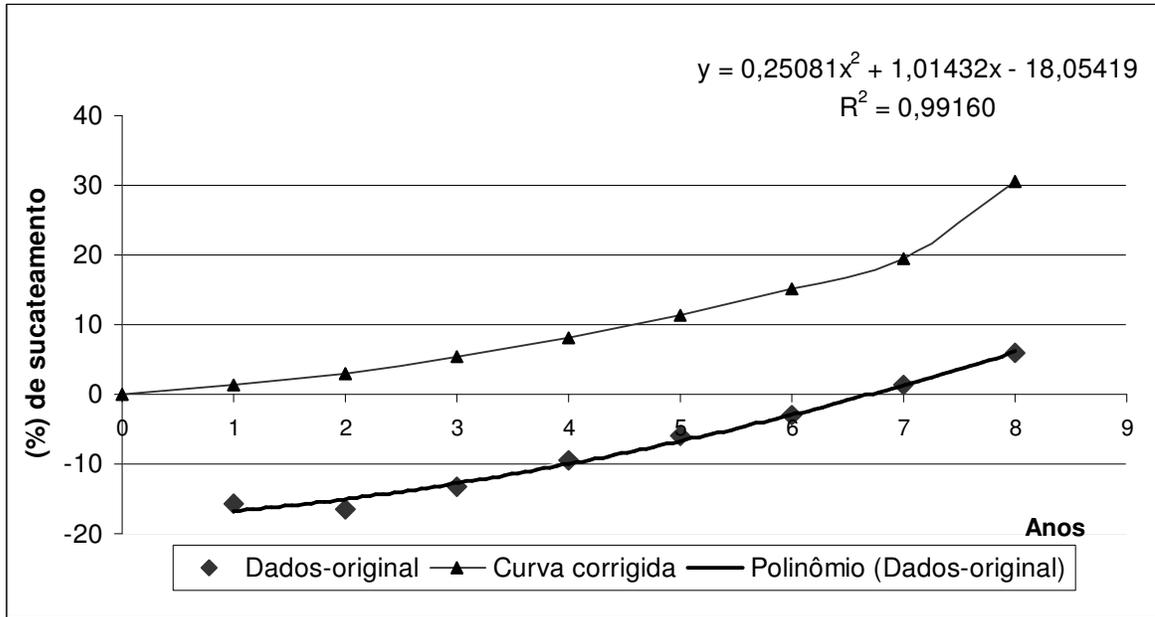


Figura 4.12 - Curva de sucateamento obtida a partir dos dados da frota da CSP.

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que o percentual anterior aos 7 anos é negativo, devido ao fato, já comentado, dos dados originais da frota aumentar do “ano zero” para o “ano 1”. Entretanto, o perfil da curva pode ser considerado satisfatório, assemelhando-se por exemplo à curva do MCT em seus primeiros 10 anos. Para se corrigir o efeito do aumento do “ano zero”, pode-se transladar a curva verticalmente no gráfico, adotando-se o critério de sucateamento zero no “ano zero”. Mas, para isso, deve-se estimar o valor de corte da curva no eixo y. Isto foi feito a partir da função de ajuste, que foi escolhida como a função polinomial de melhor ajuste (R^2 mais próximo de 1), sem, entretanto que o valor de corte seja maior que o valor do “ano 1”. Como resultado, obteve-se a curva corrigida, também mostrada no gráfico da Figura 4.12.

Com a curva ajustada, obtida empiricamente para a CSP, pode-se comparar o quanto cada uma das curvas consideradas, do IPT e do MCT, se adéqua a este caso. O resultado está mostrado na Figura 4.13, onde se observa que nenhuma das duas curvas reproduz com fidelidade as taxas de sucateamento verificadas no período de 8 anos. Esta diferença pode ser devida ao fato das duas curvas terem sido elaboradas para a frota de todo o país. De fato, é possível que o maior poder aquisitivo da população de São Paulo permita uma maior taxa de substituição dos veículos

que a média do país, mas as razões desse fato não serão aqui analisadas. Portanto, nesta tese foi proposta uma nova curva de sucateamento, ajustada para o caso da CSP.

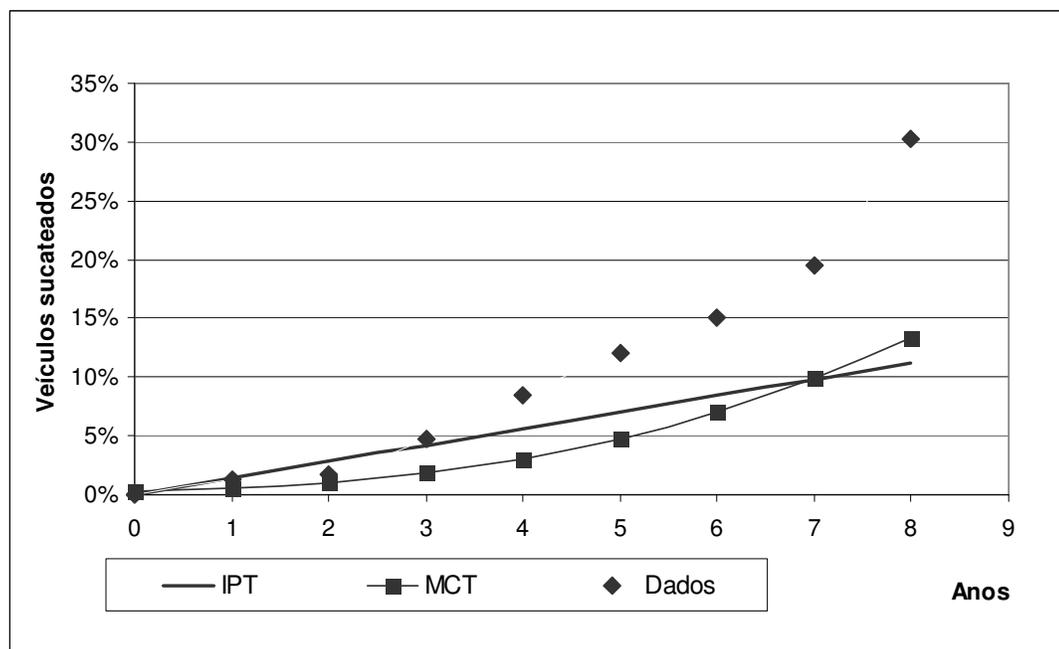


Figura 4.13 - Comparação entre as curvas de sucateamento do IPT e do MCT com os dados para a CSP.

Fonte: Elaboração própria.

Da figura 4.13 percebe-se que apesar das duas curvas não se ajustarem aos dados da curva empírica, a curva do MCT apresenta um comportamento mais semelhante, ou seja, a função exponencial apresenta um comportamento mais próximo da curva quadrática dos dados, ambas divergindo bastante do comportamento linear da curva do IPT. Já foi observado anteriormente que as curvas do IPT e do MCT não divergem significativamente a partir de 30 anos de uso dos veículos, o mesmo devendo acontecer com a curva de dados, que infelizmente não pode cobrir este período de tempo por falta de informações.

Assim sendo, optou-se então por se utilizar a curva do MCT (função exponencial), porém com um ajuste das constantes da função aos dados empíricos, de forma que a se obter um resultado mais próximo dos valores observados nos primeiros 8 anos de uso dos veículos. Para os últimos 10 anos, entre 30 e 40 anos de uso, assumiu-se os mesmos valores da curva do MCT. O resultado obtido (Curva MCT ajust) está mostrado na figura 4.14. Vê-se que a curva proposta

está em melhor concordância com os dados de sucateamento da frota do que as demais. Um resultado interessante também obtido foi um ajuste mais próximo de 100% de sucateamento para veículos com mais de 30 anos, um resultado mais de acordo com a hipótese de inexistência de veículos com mais de 40 anos

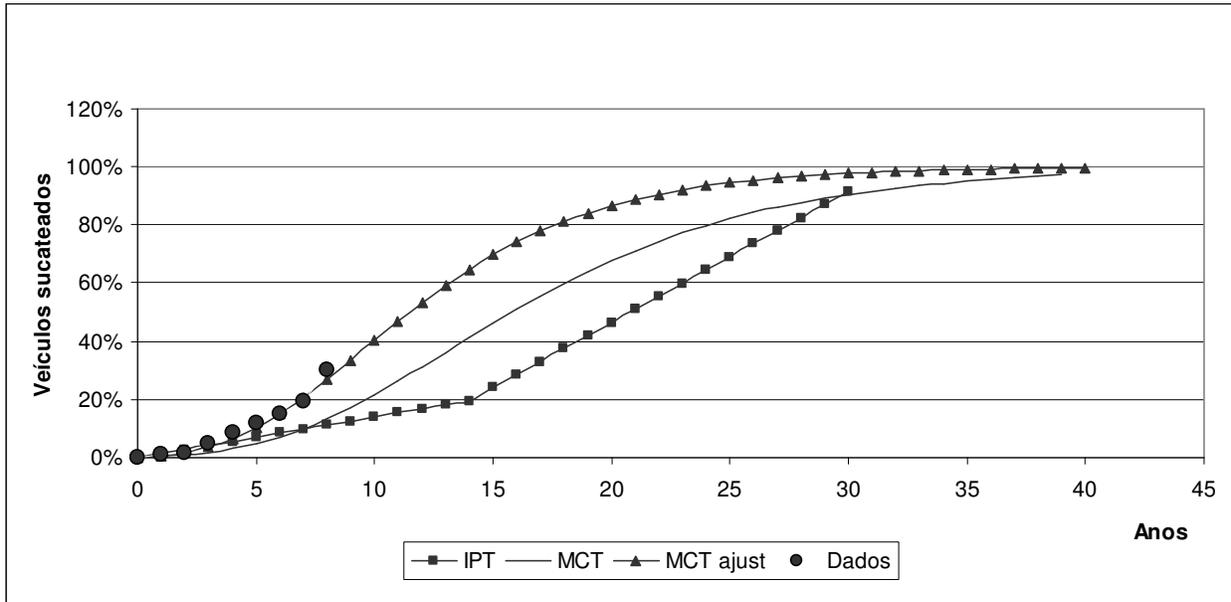


Figura 4.14 - Comparação entre os dados da PRODESP para a CSP e as curvas de sucateamento do IPT, do MCT e MCT ajustada.

Fonte: Elaboração própria.

Concluindo, como o que se deseja é uma curva de sucateamento mais adequada ao caso da CSP, optou-se por considerar também nesta tese a curva MCT-ajust, sendo a equação e os valores das taxas de sucateamento para cada ano de uso obtidas através dessa curva também apresentados no Anexo II, item AII.8.

A partir da definição da curva de sucateamento, pode-se determinar a taxa dos veículos com um ano de uso e, a partir deste valor, calcular a correção do número de veículos novos (“ano zero”). Vale lembrar que a quantidade de veículos novos é de grande importância neste trabalho, uma vez que a substituição de veículos convencionais por veículos com células a combustível se dará exatamente sobre os veículos novos. Assim sendo, analisou-se os valores da taxa de sucateamento para veículos com um ano de uso, apresentados na Tabela 4.5.

Como se pode ver na tabela, há dois valores muito discrepantes, o valor empírico corrigido e o valor da curva do MCT. Com estes valores a média tem valor 1,4%, mas um desvio padrão muito grande (0,8), superior a metade da média. Com a exclusão destes dois valores obtém-se o valor médio de 1,5% e um desvio padrão bem menor (0,2). Assim sendo, optou-se pela adoção deste último valor para a correção dos dados da frota, conforme mostrado anteriormente.

Tabela 4.5- Diferentes valores da taxa de sucateamento para veículos com um ano de uso.

Curva de sucateamento	Taxa “ano 1” (%)
Empírica (corrigida)	2,3
Função de ajuste (corrigida)	1,3
IPT	1,4
MCT	0,2
MCT ajust	1,7
Média	1,4
Média significativa	1,5

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, com o objetivo de se validar os procedimentos adotados, procedeu-se a uma comparação entre as curvas de sucateamento na projeção da frota de veículos da CSP, partindo-se do ano de 1996 e projetando-se a frota de 2003. Comparando-se os resultados com os dados da frota para esse ano chegou-se aos valores apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6- Resultados da projeção da frota de 1996 para o ano de 2003.

Ano	Ano-base 1996	Ano-fim 2003	Projeções para 2003			Erro Relativo Percentual (%)			Erro Relativo Absoluto		
			IPT	MCT	MCT-ajust	IPT	MCT	MCT-ajust	IPT	MCT	MCT-ajust
0	272.904	164.677	128.580	144.183	126.904	21,92	12,44	22,94	0,22	0,12	0,23
1	292.325	193.281	364.272	372.865	356.289	-88,47	-92,91	-84,34	0,88	0,93	0,84
2	256.019	216.660	245.941	231.047	250.980	-13,51	-6,64	-15,84	0,14	0,07	0,16
3	203.599	210.709	241.382	226.764	246.327	-14,56	-7,62	-16,90	0,15	0,08	0,17
4	128.780	168.656	131.875	132.670	135.204	21,81	21,34	19,83	0,22	0,21	0,20
5	134.574	206.098	254.845	263.826	250.524	-23,65	-28,01	-21,56	0,24	0,28	0,22
6	131.436	275.129	238.598	233.294	239.239	13,28	15,21	13,04	0,13	0,15	0,13
7	146.330	227.765	139.860	135.468	143.675	38,59	40,52	36,92	0,39	0,41	0,37
8	137.944	235.300	214.177	218.143	213.957	8,98	7,29	9,07	0,09	0,07	0,09
9	104.226	186.554	194.875	196.125	194.058	-4,46	-5,13	-4,02	0,04	0,05	0,04
10	166.689	146.646	147.828	148.187	146.557	-0,81	-1,05	0,06	0,01	0,01	0,00
11	150.711	93.139	89.315	88.978	87.836	4,11	4,47	5,69	0,04	0,04	0,06
≥ 12	1.659.168	2.039.527	1.972.592	1.972.592	1.972.592	3,28	3,28	3,28	0,03	0,03	0,03
Total	3.744.293	4.364.141	4.364.141	4.364.141	4.364.141	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erro total						-33,49	-36,81	-31,82	2,57	2,46	2,54
Desvio padrão						29,68	30,40	28,60	0,23	0,24	0,22

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da Tabela 4.6 indicam que a curva de sucateamento proposta nesse trabalho, denominada MCT-ajust, é a mais adequada ao uso nas projeções da frota da CSP, de acordo com o procedimento estabelecido.

Uma observação importante a ser ressaltada no procedimento é a seqüência em que primeiramente se realiza a projeção total da frota, a partir dos cenários adotados, a partir da qual se estabelece o número total de veículos com mais de 11 anos e se projeta a composição da frota. Ao final, desagrega-se estes veículos no intervalo 12 a 40 anos, utilizando-se a curva logarítmica adotada. O procedimento invertido, o qual se inicia com a desagregação da frota antiga para depois fazer a projeção com o uso da curva de sucateamento, leva a erros muito elevados, que podem chegar próximos a 100% para determinados anos.

Com relação à composição da frota de veículos leves, a produção maciça de veículos *flex* pelas montadoras nos últimos anos, conduziu a seguinte hipótese: a partir de 2006 não haverá

mais introdução de veículos novos a álcool na frota da CSP, assim como a frota de veículos novos a gasolina, será nula a partir de 2009. Esta queda dos valores atuais para zero em seus respectivos anos foi realizada através de regressões lineares. Do mesmo modo também foi realizada uma regressão linear para a frota *flex*, de modo que a partir de 2009 todos os veículos novos cadastrados na CSP serão *flex*. Ainda com relação aos veículos *flex*, foi considerado que ao longo de 1 ano tais veículos circularão 60% de sua quilometragem com gasolina e 40% com álcool, conforme Esteves (2007) determinou em seu trabalho.

No Anexo II itens AII.9 e AII.10 encontram-se as planilhas tanto para a projeção otimista quanto para a conservadora, com a projeção da frota total até o ano de 2025 e sua composição por ano de uso da frota. Também no Anexo II itens AII.11 e AII.12 estão as planilhas com a composição da frota por tipo de combustível para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025. As Figuras 4.15 e 4.16 apresentam a composição da frota por tipo de combustível para a projeção otimista e a conservadora até o ano de 2025.

A projeção otimista representa um crescimento na frota em 2025 de aproximadamente 66% em relação ao ano base de 2005. A frota é composta por 79% de veículos *flex*, 20% de veículos a gasolina e 1% de veículos a álcool. Com relação à projeção conservadora, houve um crescimento de apenas 2% entre o ano base e 2025. Apesar deste pequeno crescimento a composição da frota, por tipo de combustível, em 2025 ficou semelhante a do cenário otimista.

Comparando os resultados obtidos na projeção otimista com os resultados da projeção conservadora observa-se:

Frota a álcool – diminuiu 83% na projeção otimista e 89% na projeção conservadora;
Frota a gasolina - diminuiu 62% na projeção otimista e 77% na projeção conservadora;
Frota *flex* – aumento de aproximadamente 3.300% na projeção otimista e 2.040% na projeção conservadora.

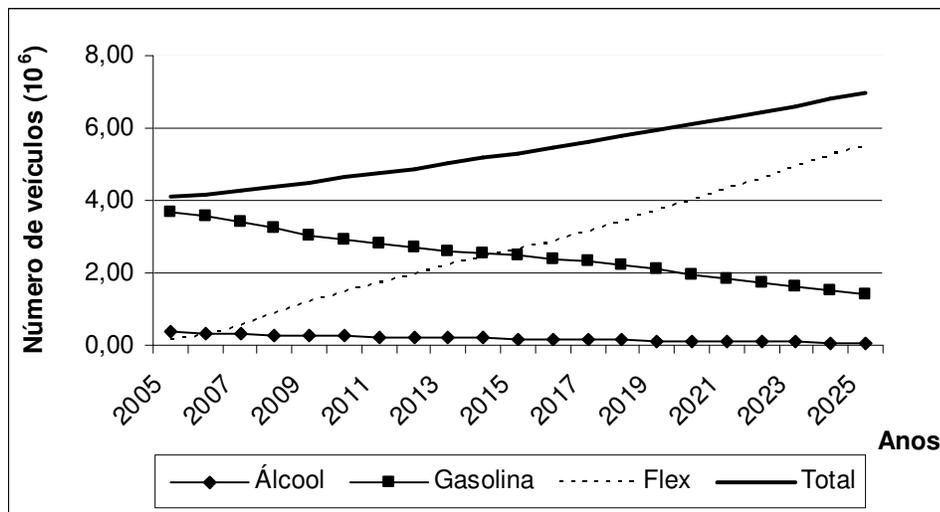


Figura 4.15 – Composição da frota até 2025 - Projeção otimista.

Fonte: Elaboração própria.

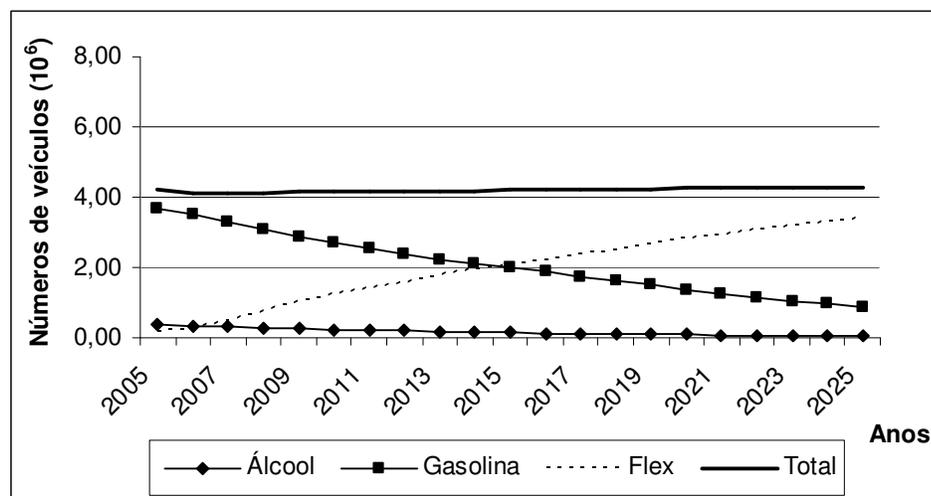


Figura 4.16 – Composição da frota até 2025 - Projeção conservadora.

Fonte: Elaboração própria.

4.2 Cálculo das emissões de CO₂ na CSP

As Figuras 4.17 e 4.18 apresentam as emissões de CO₂ por tipo de combustível de uso veicular na CSP, para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025, para a projeção otimista e para a conservadora, respectivamente. As emissões foram calculadas conforme descrito no Capítulo 3.

No Anexo II itens AII.13 e AII.14 encontram-se as planilhas com os valores de emissões para cada um dos anos detalhados.

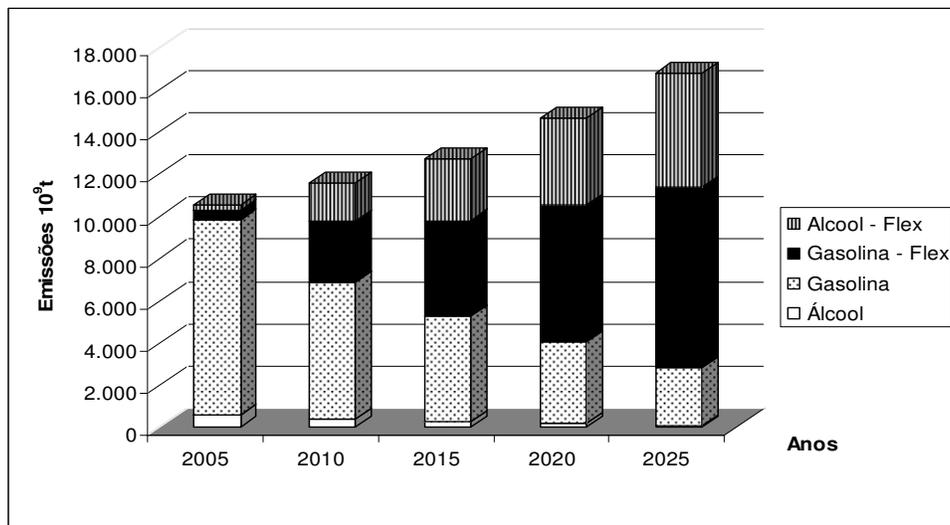


Figura 4.17 – Emissões de CO₂ para a CSP para os anos de 2005, 2020, 2015, 2020 e 2025 – Projeção otimista.

Fonte: Elaboração própria.

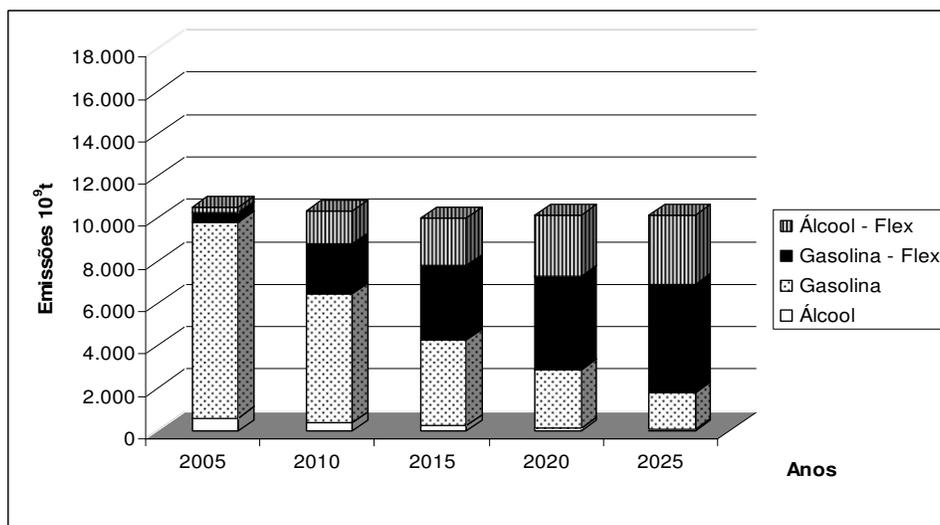


Figura 4.18 – Emissões de CO₂ para a CSP para os anos de 2005, 2020, 2015, 2020 e 2025 – Projeção conservadora.

Fonte: Elaboração própria.

As emissões da frota otimista apresentam um aumento de 78%, sendo que a frota a álcool e a gasolina tiveram uma redução de emissão (devido à diminuição desta frota) respectivamente de 82% e 70%. A frota *flex* apresenta um aumento de quase 2.400% em relação ao ano base. Neste sentido é importante observar que tanto as emissões dos veículos *flex* a gasolina quanto a álcool são os responsáveis pelo aumento de emissões que, respectivamente, apresentam um aumento de 2.190% e 2.760%.

Já as emissões para a frota conservadora apresentam um crescimento de 8%. Os veículos a álcool apresentam uma redução de 89%, e os a gasolina uma redução de 82%. Os veículos *flex* apresentam um aumento de aproximadamente 1.470%, sendo que os veículos *flex* a gasolina apresentam um aumento de aproximadamente 1.300% e os a álcool de quase 1.700%.

Das emissões quantificadas na Figuras 4.17 e 4.18 apenas as emissões referentes à gasolina é que são contabilizadas para o desenvolvimento de projetos de MDL. Dentro deste contexto é importante lembrar que a gasolina brasileira considerada neste trabalho, como sendo a gasolina C, não é uma gasolina pura, sendo acrescida de um percentual de álcool (22%). Portanto para fins de quantificação nos projetos de MDL é preciso descontar das emissões da gasolina o percentual de emissões devido ao uso do etanol anidro. Segundo o Sr. Renato Linke da CETESB, “... *contas estequiométricas mais precisas (não considerando a gasolina como um octano) revelam que para uma mistura contendo 22% em volume de etanol anidro, 15,4% da massa do CO₂ veio da queima da fração álcool, sendo os 84,6% de massa restante devido a fração gasolina pura ...*”²³.

A Figura 4.19 apresenta a evolução das emissões de CO₂ referente a gasolina consumida no período de 2005 a 2025 para as duas frotas. Nesta figura é apresentada a soma das emissões da gasolina dos veículos puros a gasolina e a dos veículos *flex* quando rodam com gasolina. As emissões de CO₂ acumuladas, no período de 2005 a 2025, para a frota otimista e para a conservadora são respectivamente: 171,6 x 10⁹t e 135,5 x 10⁹t. Os valores das emissões de CO₂ referentes a gasolina (descontando a parcela referente ao álcool) estão no Anexo AII.15.

²³ LINKE, Renato. **Dúvidas sobre a frota de veículos da CSP**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por paulaart@aquagenesis.org.br em 10 de dezembro de 2007.

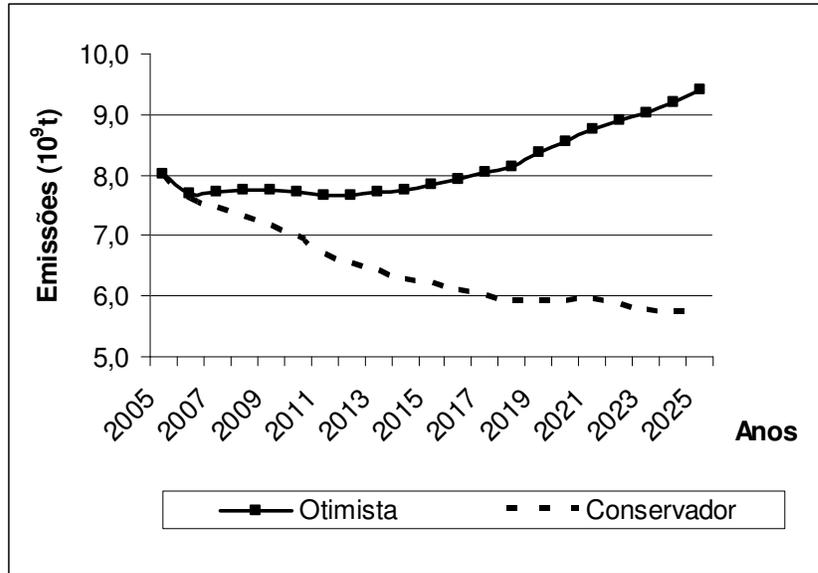


Figura 4.19 – Emissões anuais de CO₂ devido ao uso de gasolina pelos veículos leves na CSP.

Fonte: Elaboração própria.

Capítulo 5

Quantificação das Emissões de CO₂ na Cidade de São Paulo 2005 a 2025 – Introdução da frota de veículos CaCs

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3 referente aos itens 3.3, 3.4 e 3.5.

5.1 Cenários para introdução de uma frota de veículos com CaCs

Os cenários são importantes para se poder avaliar o impacto da introdução de novas tecnologias. Neste item são detalhados os cenários de introdução dos veículos com CaCs a hidrogênio. Como foi mostrado no Capítulo 2, as profundas diferenças entre essa tecnologia e a dos veículos convencionais não permitem a adaptação destes últimos. Assim sendo, a introdução dos veículos com CaCs se dará apenas como veículo novo, a partir de 2009. Este ano de início foi adotado em vista dos anúncios de alguns fabricantes de veículos com CaCs de iniciar sua comercialização em 2008.

I - Cenários de introdução

Para este trabalho foram desenvolvidos quatro cenários, que tiveram como referência o ano de 2005. Estes cenários são detalhados a seguir.

Cenário A - cenário tendencial, onde não será adotada nenhuma modificação nos veículos de combustão interna a gasolina, a álcool ou *flex-fuel*. Portanto nesse caso a frota de veículos com

CaCs é nula. Este cenário servirá de base para o desenvolvimento dos outros três cenários e permitirá a comparação dos níveis de emissões de CO₂ calculados para cada um deles. Para este cenário será utilizada a hipótese desenvolvida para os veículos tradicionais no capítulo anterior (ver item 4.1.3).

Cenário B - cenário para introdução dos veículos com células a combustível na cidade de São Paulo em substituição aos veículos de combustão interna, utilizando os índices de introdução propostos para Los Angeles, Califórnia, conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Número mínimo de veículos ZEV após modificações em 2007.

Modelo - Ano	Mínimo de ZEV Exigido
2009 a 2017	11%
2018 - posteriores	16%

Fonte: ARB, 2007.

Cenário C – trata-se de um cenário mais realista para a CSP, onde serão introduzidos veículos com CaCs. O percentual de veículos com CaCs baseia-se no percentual do cenário B, porém corrigido por um fator igual a 5,17, que é a razão entre o PIB de 2003 para a região metropolitana de Los Angeles²⁴ e o PIB da Região Metropolitana de São Paulo²⁵ para o mesmo ano (Esteves, 2007). Os índices de introdução adaptados para a realidade das duas localidades estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Número mínimo de veículos ZEV após correção do índice.

Modelo -Ano	Mínimo de ZEV Requerido
2009 a 2017	2%
2018 - posteriores	3%

Fonte: Elaboração própria.

²⁴ O PIB de Los Angeles County em 2003 foi de US\$410,80 billions. LOS ANGELES ALMANAC. Disponível em: <<http://www.laalmanac.com/economy/ec001.htm>>. Acesso em: 22 Out. 2007.

²⁵ O PIB da RMSP em 2003 foi de US\$79,4 bilhões. PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/>>. Acesso em: 22 Out. 2007.

Cenário D – trata-se do cenário considerado ideal do ponto de vista exclusivamente ambiental, onde todos os veículos leves novos introduzidos seriam veículos com CaCs. Este cenário permite estimar o maior impacto possível com esta tecnologia, ou seja, o limite desta proposta de redução de emissões de CO₂.

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam a evolução da frota otimista e da frota conservadora, para os cenários estabelecidos, sendo que a linha tracejada representa a evolução da frota tradicional total (neste cenário não há veículos com CaCs) e os cenários B, C e D representam a evolução somente da frota de veículos com CaCs até 2025. No Anexo III os itens AIII.1 a AIII.6 apresentam as planilhas correspondentes à introdução da frota de veículos com CaCs para os cenários B, C e D para a projeção otimista e a conservadora. Também no Anexo III, itens AIII.7 a AIII.14 encontram-se as planilhas com a introdução da frota de veículos com CaCs para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025. Estas planilhas apresentam a composição da frota por tipo de combustível e pela idade (ano de uso) para cada ano analisado.

É importante observar que tanto a frota de veículos a álcool puro e gasolina não sofrem nenhuma alteração com a introdução de veículos com células a combustível. Já a frota *flex* é a frota que é mais impactada pela introdução de veículos com CaCs, pois trata-se da frota de veículos novos. Conforme a hipótese formulada no Capítulo 4, item 4.1.3, a partir de 2009 todos os veículos novos serão *flex* e, como a introdução de veículos com CaCs só acontece para veículos novos, apenas esse tipo de veículo será substituído. As Figuras 5.3 e 5.4 ilustram o impacto causado pela frota de veículos com CaCs sobre a frota *flex*.

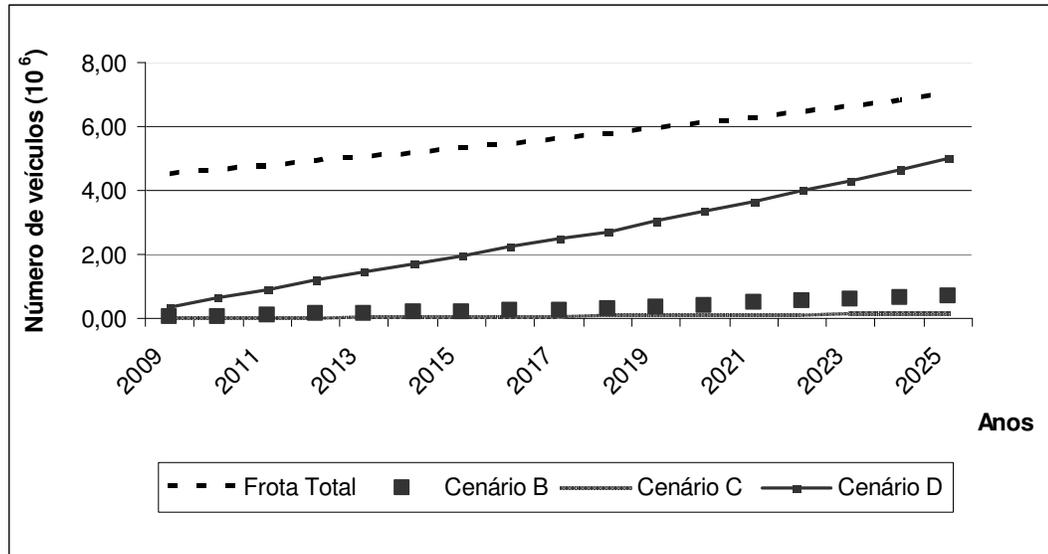


Figura 5.1 – Cenários de introdução da frota de veículos com CaCs de 2009 a 2025 – Projeção Otimista.

Fonte: Elaboração própria.

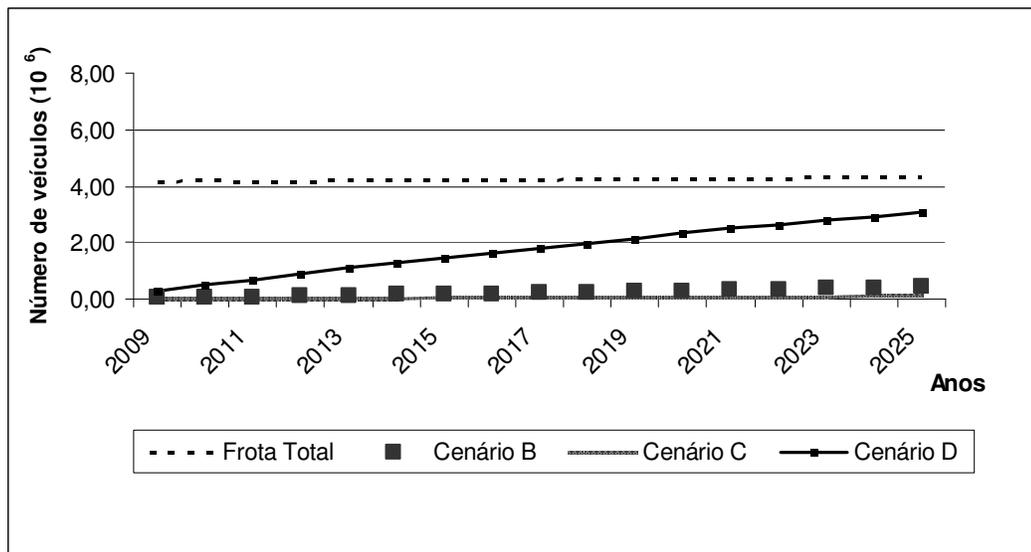


Figura 5.2 – Cenários de introdução da frota de veículos com CaCs de 2009 a 2025 – Projeção conservadora.

Fonte: Elaboração própria.

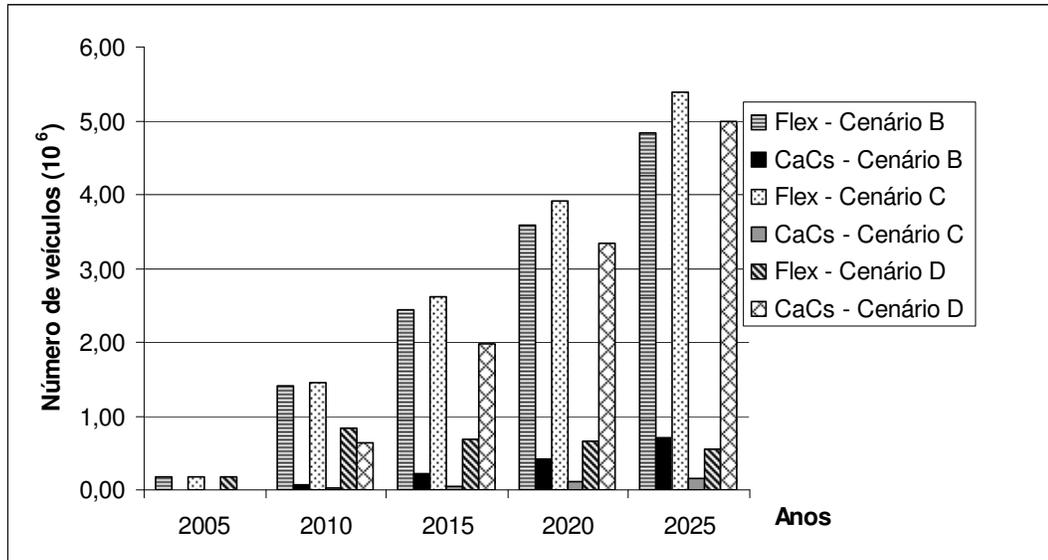


Figura 5.3 – Distribuição da frota de veículos *flex* e da frota de veículos com CaCs para os cenários B, C e D – Projeção otimista.

Fonte: Elaboração própria.

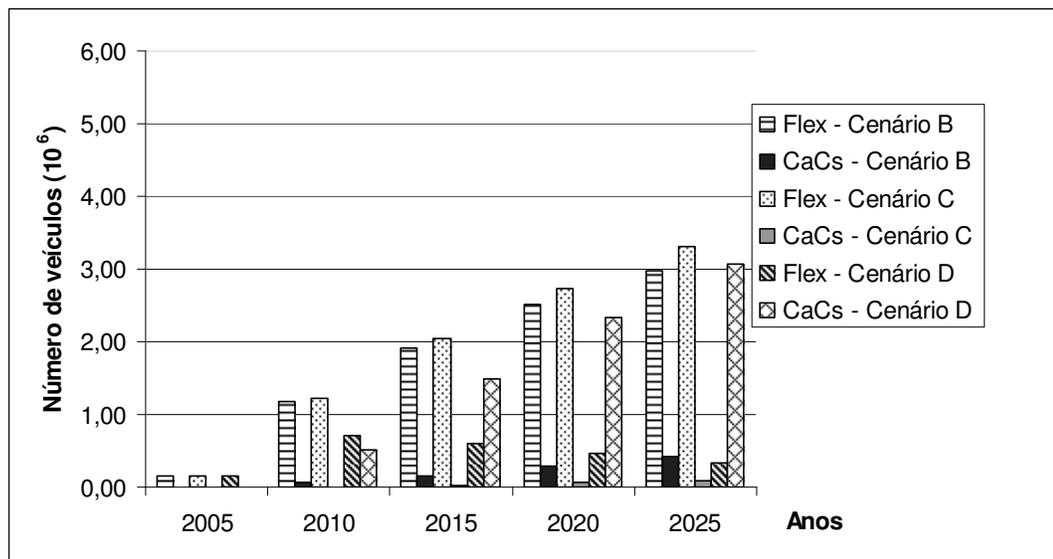


Figura 5.4 – Distribuição da frota de veículos *flex* e da frota de veículos com CaCs para os cenários B, C e D – Projeção conservadora.

Fonte: Elaboração própria.

II - Comparação dos veículos de combustão interna e veículos com células a combustível

Para fazer uma análise comparativa em termos de emissão de CO₂ e consumo de combustível, inicialmente optou-se por fazer uma comparação individual veículo a veículo, para então fazer uma projeção para as emissões de toda a frota. Para isto foram escolhidos dois modelos: um veículo de combustão interna a gasolina e outro veículo com CaCs a hidrogênio.

O veículo de combustão interna escolhido foi o Gol 1.0 Total *Flex* versão 2006 da Volkswagen, que é há 20 anos o modelo de carro mais vendido no País (Oliveira, 2007). O veículo com célula a combustível escolhido foi o modelo FCX V4 da Honda. Esta escolha tem como base as características de rodagem deste modelo, que se aproximam bastante das apresentadas por veículos convencionais projetados para tráfego urbano. Outro motivo é que se trata do primeiro veículo com CaCs a ser certificado pela EPA como veículo sem emissão (ver Capítulo 2), já tendo recebido o certificado para uso comercial tanto nos Estados Unidos como no Japão (Honda, 2007). Os dados do Gol 1.0 e do Honda FCX V4 são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Principais características.

	GOL 1.0 Total Flex	Honda FCX V4
Motor	Combustão interna 1.0	Elétrico, CA assíncrono
Potência	51 kW a 4.500 rpm (G) 53 kW a 4.500 rpm (A)	80 kW – 107 cv
Torque	9,4 mkgf a 4.250 rpm 9,7 mkgf a 4.250 rpm	272 Nm 27,7 mkgf
Combustível	Gasolina/álcool	hidrogênio comprimido
Tanque	51 litros	42 m ³ de H ₂ a 35MPa (350 bar)
Velocidade máx.	168 km/h (A)	150 km/h
Consumo cidade	12 km/litro (G) 8,86 km/litro (A)	10,23 km/m ³ de H ₂
Consumo estrada	15 km/litro (G) 12 km/litro (A)	-
Autonomia máx.	693 km	430 km

*1 kg de hidrogênio contém energia equivalente a 3,78 litros de gasolina.

Fonte: Borges, 2007; Honda, 2007; Ferreira, 2007.

No entanto, para cálculos mais precisos, também é necessário conhecer o consumo de veículos a álcool e a gasolina (veículos não *flex*). No caso da gasolina optou-se por utilizar os dados do Gol Plus 1.0 geração 4, modelo 2005, com consumo urbano de 9,3 km/l (Carros na

Web, 2007). Já para o veículo a álcool foi mais difícil encontrar dados disponíveis, de forma que optou-se por usar dados do Palio Fire Flex, modelo 2006, que apresentou para o álcool o menor consumo urbano 7,5 km/l (Grieco, 2007). A opção por estes dados foi feita baseada no fato que as duas frotas são compostas em sua maioria por veículos antigos, já que a partir de 2006 e 2009 respectivamente, eles já não são mais produzidos. O consumo de combustível para cada um dos veículos é mostrado na Tabela 5.4

Tabela 5.4 – Consumo de combustível.

Veículo	Combustível	km anual*	Consumo na cidade	Consumo anual
Gol Total Flex 1.0	Álcool	22.000	8,8 km/l	2.500 litros álcool
	Gasolina	22.000	12 km/l	1.833 litros gasolina
Honda FCX	Hidrogênio	22.000	10,2 km/m ³	2.157 m ³ H ₂
Gol Plus 1.0	Gasolina	22.000	9,3 km/l	2.366 litros gasolina
Pálio Fire	Álcool	22.000	7,5 km/l	2.933 litros álcool

*dados CETESB para veículos novos.

Fonte: Elaboração própria.

5.2 Cálculo das emissões de CO₂ na CSP

No Anexo III, itens AIII.15 a AIII.22, encontram-se as planilhas com os valores de emissões para todos os cenários, para a projeção otimista e conservadora nos anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025. Como foi observado no item 4.1, tanto a frota de veículos a álcool e gasolina não sofrem nenhuma alteração com a introdução de veículos com células a combustível, permanecendo para os cenários de introdução da frota de veículos com CaCs os mesmos valores de emissões de CO₂ obtidos no cenário A. As maiores reduções de emissões são observadas para o Cenário D, onde toda a frota de veículo *flex* novos é substituída por veículos com CaCs. As Figuras 5.5 e 5.6 ilustram as emissões de CO₂ para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025 para os quatro cenários na projeção otimista e na conservadora.

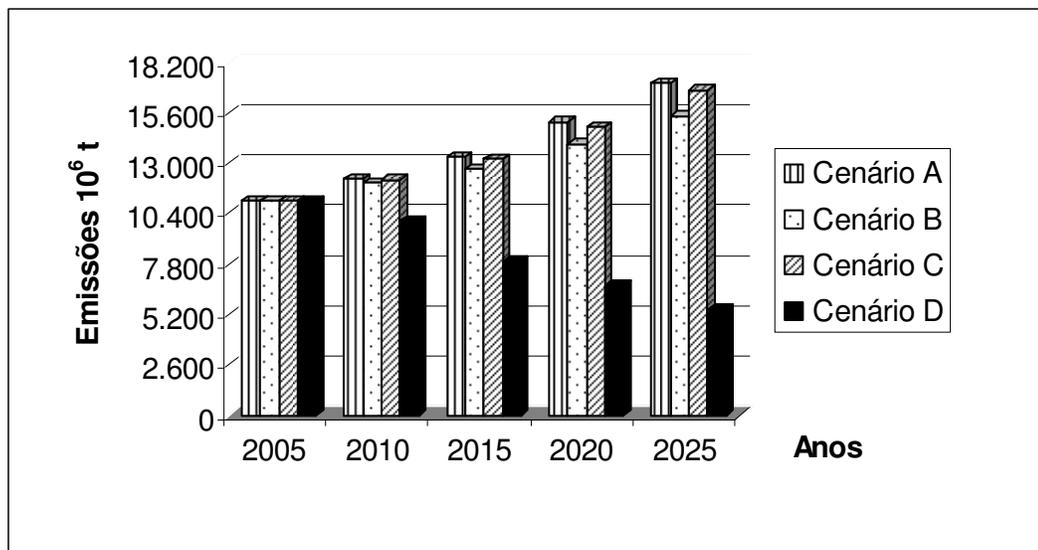


Figura 5.5 – Emissões de CO₂ para os cenários de introdução da frota de veículos com CaCs – Projeção otimista.

Fonte: Elaboração própria.

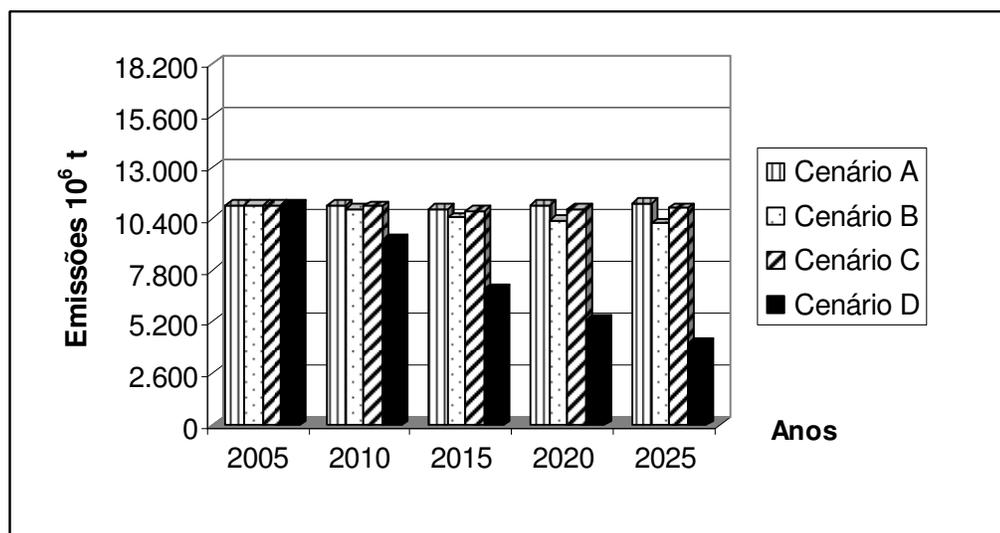


Figura 5.6 – Emissões de CO₂ para os cenários de introdução da frota de veículos com CaCs – Projeção conservadora.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figuras 5.5 e 5.6 percebe-se uma diferença significativa na questão das reduções de emissões. Enquanto a Figura 5.5 indica o aumento das emissões que acompanha o crescimento

da frota (via projeção otimista), na Figura 5.6 acontece o inverso. Com um crescimento de frota mais lento, o impacto da introdução de veículos novos, mesmo que apenas *flex* (Cenário A), já implica na redução das emissões, que é ainda mais acentuada com a introdução dos veículos com CaCs.

5.3 Cálculo do consumo de hidrogênio

Para quantificar o consumo de hidrogênio da frota de veículos com CaCs foram utilizados os dados de distância percorrida anualmente para cada modelo-ano, multiplicado pela autonomia do veículo, conforme descrito no Capítulo 3. A Tabela 5.5 apresenta o consumo de hidrogênio estimado para a frota de veículos com CaCs para os cenários B, C e D para a projeção otimista e a conservadora. No Anexo III, itens AIII.23 e AIII.24, encontra-se o consumo estimado para a frota a álcool e a frota a gasolina. Devido à dificuldade em obter dados sobre o consumo de combustíveis para a CSP, optou-se por esta mesma metodologia para os veículos convencionais, que é recomendada pela CETESB na falta de dados disponíveis, para estimar o volume de combustível necessário para abastecer a frota da CSP.

Tabela 5.5 – Consumo de hidrogênio da frota de veículos com CaCs da CSP.

Projeção Otimista (10⁶ m³)			
Cenário/Ano	B	C	D
2010	140,0	25,5	1.273,5
2015	349,2	63,5	3.174,6
2020	653,7	148,8	4.961,9
2025	977,1	202,3	6.742,9
Projeção Conservadora (10⁶ m³)			
Cenário/Ano	B	C	D
2010	113,3	20,6	1.030,1
2015	261,4	47,5	2.376,8
2020	444,3	102,3	3.411,1
2025	584,7	122,1	4.068,8

Fonte: Elaboração própria.

5.4 Cálculo das emissões evitadas

Para determinar as emissões evitadas pela substituição dos veículos tradicionais pelos veículos com CaCs é preciso determinar as emissões geradas para a produção do hidrogênio que abastecerá esta frota. Para as fontes hidráulica, eólica e solar fotovoltaica é preciso determinar a energia elétrica anual para produzir hidrogênio via eletrólise; para a biomassa é preciso determinar o volume de etanol (álcool) necessário para produzir hidrogênio via reforma.

De posse destas informações multiplica-se estes valores pelo índice de emissão de CO₂ para cada uma destas fontes, determinando-se o quanto se gera de CO₂ para produzir o hidrogênio que será utilizado pelos veículos. Estas emissões serão somadas as emissões geradas pelo uso de gasolina. As emissões evitadas serão obtidas através da Equação 3.16, descrita no Capítulo 3. A Tabela 5.6 apresenta a energia anual requerida para a produção de hidrogênio, enquanto que a Tabela 5.7 apresenta o volume necessário de etanol para a produção do mesmo.

Tabela 5.6 - Energia anual requerida (GWh) para a produção de hidrogênio.

Projeção Otimista (GWh)			
Cenário	B	C	D
2.010	756	138	6.877
2.015	1.688	307	15.345
2.020	3.530	804	26.794
2.025	5.277	1.092	36.412
Projeção Conservadora (GWh)			
Cenário	B	C	D
2.010	612	111	5.562
2.015	1.268	230	11.523
2.020	2.399	553	18.420
2.025	3.157	659	21.971

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.7 – Volume de etanol (litros) anual requerido para a produção de hidrogênio.

Projeção Otimista (10⁶ litros de etanol)			
Cenário/Ano	B	C	D
2010	60,7	11,0	551,8
2015	151,3	27,5	1.375,6
2020	283,2	64,5	2.150,0
2025	423,4	87,6	2.921,7
Projeção Conservadora (10⁶ litros de etanol)			
Cenário/Ano	B	C	D
2010	49,1	9,0	446,3
2015	113,3	20,6	1.029,8
2020	192,5	44,3	1.478,0
2025	253,3	52,9	1.763,0

Fonte: Elaboração própria.

De posse destes dados é possível determinar as emissões de CO₂ que ocorrem para produzir o hidrogênio. É importante observar aqui, que a utilização do hidrogênio como combustível nos veículos CaCs não gera emissões de CO₂ e nem de poluentes, porém antes da produção do hidrogênio ocorrem emissões. Ao quantificar estas emissões é possível determinar qual a fonte mais limpa para produzir hidrogênio.

Outra observação importante é que estas emissões de CO₂ só foram calculadas para as fontes de geração de hidrogênio. No caso dos combustíveis tradicionais, já utilizados pelos veículos na CSP (gasolina e álcool), não foram determinadas as emissões de CO₂ anteriores ao uso final do combustível.

A quantificação das emissões de CO₂ para as fontes de geração de hidrogênio foi realizada para que a proposta inserida neste trabalho, substituição dos combustíveis tradicionais pelo hidrogênio, possa ser analisada sob o enfoque do MDL. Segundo Castro (2007), o cálculo das emissões de CO₂ para o setor de transporte deve envolver o ciclo de vida do novo combustível proposto, desde a sua produção até a sua utilização.

Para determinar estas emissões foi realizada no Capítulo 2 uma revisão de literatura sobre emissões de CO₂ para cada uma das fontes geradoras de hidrogênio. No caso das fontes

hidráulica, eólica e fotovoltaica foi calculada uma média entre os valores encontrados. Para a biomassa foi utilizado o índice adotado por Macedo (2004). Os índices utilizados são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Índices de emissão de CO₂ para as fontes de produção de hidrogênio.

Fonte	Emissão de CO₂
Hidráulica	24 g/kWh
Eólica	7,4 g/kWh
Solar Fotovoltaica	50 g/kWh
Etanol	401,2 g/litro de etanol

Fonte: Elaboração própria.

No Anexo III, os itens AIII.25 e AIII.26, apresentam os valores para as emissões geradas por cada fonte utilizada para produzir hidrogênio, tanto na projeção otimista quanto na conservadora.

As Figuras 5.7 e 5.8 apresentam as emissões totais evitadas de CO₂ para cada fonte nas projeções otimista e conservadora para cada cenário de introdução dos veículos CaCs (itens AIII.27 e AIII.28, do Anexo III). Como comentado anteriormente, estas emissões foram obtidas através da Equação 3.16 do Capítulo 3.

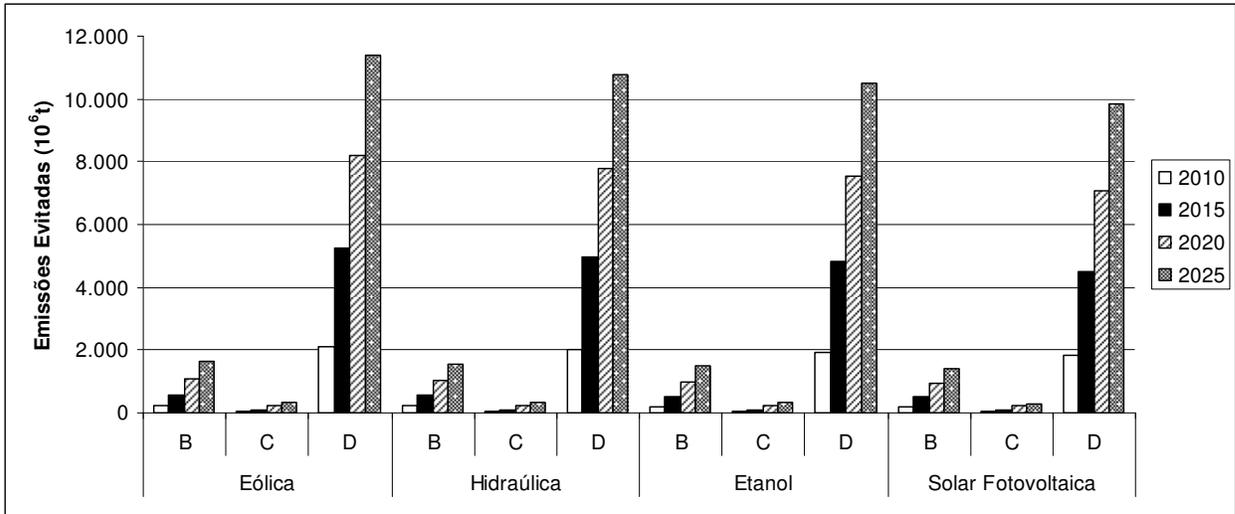


Figura 5.7 – Emissões evitadas de CO₂ com a utilização de veículos com CaCs para cada fonte de energia – Projeção Otimista.

Fonte: Elaboração própria.

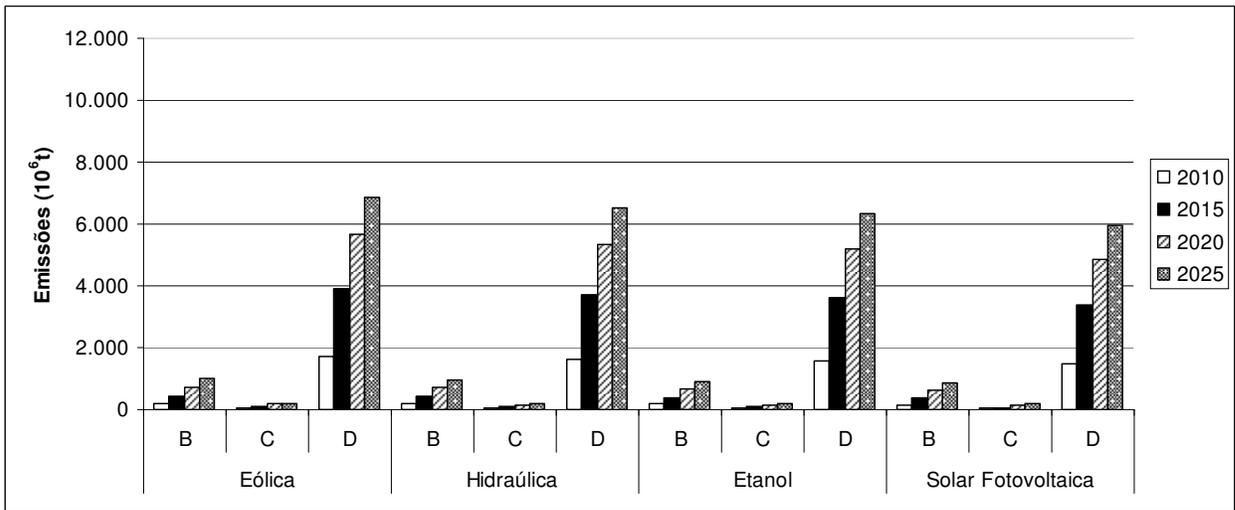


Figura 5.8 – Emissões evitadas de CO₂ com a utilização de veículos com CaCs para cada fonte de energia – Projeção Conservadora.

Fonte: Elaboração própria.

Capítulo 6

Análise dos Resultados

Neste capítulo será realizada a análise dos resultados obtidos no Capítulo 5, sob a ótica de que a proposta aqui apresentada possa se enquadrar dentro dos critérios de um projeto de MDL. Para isto apresenta-se um *check-list* referente aos requisitos exigidos para se elaborar um Documento de Concepção do Projeto (DCP). A seguir estima-se o potencial de créditos de carbono que poderão ser obtidos. Por último levanta-se uma discussão sobre a titularidade destes créditos.

6.1 Análise dos resultados obtidos com a introdução dos veículos CaCs a hidrogênio na CSP.

A Tabela 6.1 apresenta as emissões de CO₂ evitadas obtidas para os três cenários de introdução dos veículos com CaCs a hidrogênio na CSP; estas emissões evitadas foram apresentadas nas Figuras 5.7 e 5.8 no Capítulo 5. As emissões evitadas foram calculadas tendo como referência o cenário A, onde não ocorre a introdução dos veículos com CaCs. Este cenário é chamado de cenário de linha de base nos projetos de MDL. É a partir da construção do cenário de linha de base que se inicia o projeto de concepção de MDL.

Percebe-se na Tabela 6.1 que as maiores emissões evitadas são alcançadas quando os veículos são abastecidos com o hidrogênio produzido por energia eólica, tanto na projeção otimista quanto na conservadora, sendo que os melhores resultados são obtidos no cenário D) que

é o mais radical, pois propõem a substituição de todos os veículos novos *flex* por CaCs a hidrogênio. Já os cenários B e C apresentam reduções baixas se comparados aos cenários D.

Tabela 6.1 – Emissões evitadas de CO₂ obtidos para os cenários de introdução de veículos CaCs a hidrogênio.

Otimista (10 ⁶ t)													
	Eólica				Hidráulica			Etanol			Fotovoltaica		
	A	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D
2010	10.175	226	37	2.114	214	35	2.000	208	34	1.943	194	31	1.821
2015	11.278	576	105	5.237	545	99	4.952	529	96	4.812	496	90	4.506
2020	13.081	1.082	247	8.218	1.023	233	7.773	994	227	7.554	932	212	7.077
2025	15.079	1.641	342	11.391	1.554	324	10.786	1.511	315	10.488	1.417	295	9.840
Conservador (10 ³ t)													
2010	9.083	187	34	1.699	177	32	1.607	172	31	1.561	161	29	1.462
2015	8.873	431	78	3.921	408	74	3.708	396	72	3.602	371	67	3.374
2020	9.050	736	170	5.654	696	160	5.348	676	156	5.198	634	146	4.870
2025	9.141	983	206	6.879	930	195	6.515	905	190	6.335	848	178	5.943

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 6.1 também demonstra que as reduções de CO₂ são crescentes. Isto significa que elas são dinâmicas, crescendo em volume evitado a cada ano. Diferente de outros projetos²⁶ de redução de CO₂, a substituição do combustível, promovida pela troca dos veículos, implicará em ganhos anuais de crédito de carbono e em valores de créditos maiores a cada ano.

6.2 Análise da adequação deste projeto aos requisitos para se tornar um projeto de MDL

Para que um projeto possa ser enquadrado como sendo um projeto de MDL, ele deve apresentar no seu Documento de Concepção de Projeto (DCP) outras informações que vão além da simples descrição das atividades de projeto e da listas de participantes.

²⁶ Por exemplo, os projetos de redução em aterros sanitários apresentam reduções fixas, pois só podem gerar créditos de carbono de acordo com o volume que o equipamento pode queimar de metano anualmente. Já as florestas tendem a ter um período de absorção de carbono durante seu crescimento, porém depois de um tempo, quando atingem determinada altura passam a absorver bem menos CO₂.

Estas descrições foram apresentadas e explicadas no Capítulo 2, de modo que agora será apenas realizado um *check-list* através da Tabela 6.2, onde será indicado se a condição exigida no DCP é atendida pela proposta desta tese: substituir a frota de veículos novas na CSP por uma frota de veículos com CaCs a hidrogênio.

Como visto na Tabela 6.2 a proposta desta tese pode ser enquadrada como um projeto de MDL, sendo que os requisitos aqui não atendidos dependem apenas de estudos apropriados que não fazem parte deste trabalho (itens 6 e 8) e também da intenção de submeter esta proposta a Entidade Operacional Designada (EOD) (itens 9 e 10).

Tabela 6.2 – *Check-list* dos requisitos de um DCP.

Requisito	Atendido	Não atendido	Observações
1- Metodologia da linha de base	X		Pode-se considerar a metodologia de emissões <i>status quo</i> . Outras metodologias poderão ser desenvolvidas, mas dependerão da aprovação do Conselho Executivo.
2- Metodologia de Cálculo	X		
3- Limite de Projeto	X		Neste caso a CSP.
4- Fuga	X		Cálculo das emissões de CO2 durante o ciclo de vida das fontes geradoras de hidrogênio
5- Definição do período de obtenção de créditos	X		
6- Plano de monitoramento		X	
7- Justificativa para adicionalidade da atividade de projeto	X		
8- Documentos e referências sobre impactos ambientais.		X	
9- Resumo dos comentários dos atores		X	
10 – Informação sobre fontes adicionais de financiamento.		X	

Fonte: Elaboração própria, baseada em Lopes, 2002.

6.3 Análise dos créditos de carbono a serem obtidos

A Tabela 6.1 apresentou-se as emissões evitadas para cada projeção otimista e conservadora, por fonte de energia utilizada para produzir hidrogênio, em cada um dos cenários de introdução dos veículos com CaCs. A Tabela 6.3 apresenta as emissões evitadas de CO₂ acumuladas para o período de 2009 a 2025.

Tabela 6.3 – Emissões de CO₂ evitadas acumuladas no período de 2009 a 2025 em 10¹²t.

Projeção Otimista (10¹²t)			
Cenários	B	C	D
Eólica	7,8	1,6	61,2
Hidráulica	7,0	1,5	55,3
Solar Fotovoltaica	5,9	1,2	46,1
Etanol	6,7	1,4	52,4
Projeção Conservadora (10¹²t)			
Eólica	5,3	1,1	42,0
Hidráulica	4,8	1,0	38,0
Solar Fotovoltaica	4,0	0,8	31,6
Etanol	4,5	1,0	36,0

Fonte: Elaboração própria.

Considerando o período de 2009 a 2025, pode-se fazer uma estimativa de quanto crédito poderia vir a ser obtido caso esta proposta se torne um projeto de MDL. Uma unidade de RCE é igual a uma tonelada de CO₂e, calculada de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP), índice divulgado pelo IPCC e utilizado para uniformizar as quantidades dos diversos gases de efeito estufa em termos de dióxido de carbono equivalente, possibilitando que reduções de diferentes gases sejam somadas (Tabela 6.4). O GWP que deve ser utilizado para o primeiro período de compromisso (2008-2012) é o publicado no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC.

Tabela 6.4 – GWP para os GEE.

GEE	GWP*
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC-23	11.700
HFC-125	2.800
HFC-134a	1.300
HFC-152a	140
CF ₄	6.500
C ₂ F ₆	9.200
SF ₆	23.900

*GWP relativo ao CO₂ expresso em termos de massa e para um período de 100 anos definido pelo Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (1995).

Fonte: Elaboração própria a partir de Lopes, 2002.

Para este trabalho será considerado que o valor da RCE será de 17 Euros²⁷. Desta forma o valor a ser recebido pelas emissões evitadas pode ser estimado como mostrado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Valores a serem recebidos pelas emissões evitadas com a introdução dos veículos com CaCs a hidrogênio no período de 2009 a 2025 (milhões de Euros).

Projeção Otimista			
Cenários	B	C	D
Eólica	132,6	27,2	1.040,4
Hidráulica	119,0	25,5	940,1
Solar Fotovoltaica	100,3	20,4	783,7
Etanol	113,9	23,8	890,8
Projeção Conservadora			
Eólica	90,1	18,7	714,0
Hidráulica	81,6	17,0	646,0
Solar Fotovoltaica	68,0	13,6	537,2
Etanol	76,5	17,0	612,0

Fonte: Elaboração própria.

²⁷ A Bolsa do Clima da Europa (European Union Allowances) em dezembro de 2007 estimou o valor das RCEs para o período de 2008 a 2012 entre 17 e 17,25 euros (em média) (Carbono Brasil, 2008).

6.4 Discussão sobre a titularidade dos Créditos de Carbono

No caso da titularidade (direito) dos créditos obtidos é necessária uma discussão, pois trata-se aqui de um projeto que propõe a substituição do combustível em veículos particulares na CSP. Além disto, a questão da titularidade dos créditos não está disciplinada pelo Protocolo de Quioto “ ... O problema é que o Protocolo de Quioto, e tampouco os Acordos de Marraqueche (que detalham as normas sobre o MDL) disciplinam em detalhes a questão da titularidade. Como são normas internacionais limitam-se a traçar as diretrizes legais mínimas que depois devem ser internalizadas em cada país conforme seu sistema legal particular. Acontece que no direito brasileiro também não há norma jurídica específica sobre o tema. Então, a solução acaba por ser traçada de acordo mais com o bom senso do que com uma norma legal...”²⁸

Portanto, para esta discussão o primeiro ponto a ser lembrado é que os veículos que utilizam gasolina deverão ser substituídos por veículos com CaCs que utilizam apenas hidrogênio. O proprietário não substituirá apenas o combustível do carro, ele terá que adquirir um carro novo, próprio para o uso do hidrogênio, veículo este muito mais caro que um veículo convencional. Portanto, imagina-se num primeiro momento que os créditos deveriam pertencer por direito ao dono do carro. Porém, se o total de créditos a ser recebido, por exemplo, no cenário D para a fonte eólica, aproximadamente 223 milhões de Euros, for dividido pelo número de veículos com CaCs naquele cenário, 4.980.763 veículos, tem-se que um proprietário terá direito a receber cerca de 44,77 Euros por todas as emissões evitadas durante o período de 2009 a 2025. O proprietário, além de ter que investir em um veículo, caso queira pleitear os créditos também deverá desembolsar valores significativos para obtê-los, pois deverá desenvolver um Documento de Concepção de Projeto (DCP), assim como deverá passar por todas aquelas fases descritas no Capítulo 2 até a emissão e aprovação das RCEs. Finalmente, pode-se concluir que com o valor a ser obtido pelas emissões evitadas em comparação aos custos para obter os RCEs, que não será o proprietário de cada veículo quem irá pleiteá-los.

²⁸ CUNHA, Kamyly Borges. **Sobre titularidade de créditos de CO₂**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por paulaart@aquagenesis.org.br em 10 de janeiro de 2008.

O próximo candidato a pretendente dos créditos poderiam ser os donos das concessionárias de carros. Mas também eles teriam algumas dificuldades pela frente. Primeiro teriam que convencer os indivíduos a trocarem seus veículos por outros bem mais caros. Depois teriam que desenvolver um DCP e apresentá-lo para aprovação dos órgãos competentes. Além de caro, trata-se também de um processo muito demorado.

Outro candidato a poder requerer os créditos seriam os donos dos postos de abastecimento de hidrogênio. Assim tanto as concessionárias de energia, que fornecem a energia elétrica para a produção do hidrogênio, como as empresas sucro-alcólicas que fornecem o álcool que também será utilizado para a produção do combustível teriam direito a pleitear para si os créditos de carbono.

O valor obtido com a venda ajudaria a minimizar os gastos com a produção do hidrogênio. Mas como estes estabelecimentos fariam para incentivar um indivíduo a adquirir o veículo com CaCs? Eles dariam um desconto no preço do combustível para os postos de abastecimento que por sua vez repassariam aos proprietários dos veículos?

Percebe-se que a discussão da titularidade neste caso não é simples. Diferente, por exemplo, quando se tem uma frota de veículos particulares (de uma grande empresa, por exemplo), cujos créditos, pode-se dizer, estão totalmente vinculados ao proprietário dos veículos, que substituiu uma frota de veículos emissores de CO₂ por outra de menor emissão. Ou, também, como é o caso de uma empresa que troca o óleo Diesel utilizado na geração de energia por gás natural.

Segundo o Sr. Marcos Prado²⁹, da KeyAssociados (empresa que desenvolve projetos de MDL), “... trata-se de um dilema conceitual a ser discutido muito caso a caso, e a metodologia que for enviada para ser aprovada na UNFCCC têm que considerar o “dono” das RCEs, que pode ser o produtor, o provedor ou o consumidor. Teoricamente quem teria direito é quem

²⁹ PRADO, Marcos. **Sobre titularidade de créditos de CO₂**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por paulaart@aquagenesis.org.br em 10 de janeiro de 2008.

realizou o modal (consumidor final) tendo que injetar recursos. Trata-se, portanto de uma questão de adicionalidade de projeto. Você não pode requerer créditos se não existirem barreiras tecnológicas ou financeiras ...”. Prado cita como exemplo, uma caldeira a diesel em uma fábrica cujo proprietário custeia a troca ou adaptação desta caldeira para que ela opere com um biodiesel mais caro que sua linha de base fóssil; os CERs entrariam então como um fomento para o proprietário que realizou a ação “benéfica” ao meio ambiente. Prado ainda explica que “... quando o consumo é dissociado como no caso do álcool, ao trocar o carro quem teria o direito seria o proprietário, pois foi ele quem mudou a própria linha de base. Porém, ele dificilmente irá recorrer. Acaba que nestes casos os créditos ficando soltos, então ocorrem tentativas para desenvolver metodologias para requisição dos créditos...”. Outra alternativa apontada por ele é que quem produziu o álcool consiga os créditos para ajudar no empreendimento, o que é possível caso se construa uma metodologia convincente.

Além disso, ele destaca o problema de duplicidade, que nestes casos acabam se tornando adicionalidades. Cita como exemplo um projeto de crédito em uma transportadora que irá utilizar hidrogênio, na qual uma das adicionalidades do projeto é que o hidrogênio adquirido venha com um laudo dizendo que não houve CERs requeridos anteriormente pelo produtor. Caso o produtor tenha uma metodologia aprovada para produção de hidrogênio, assim como ele tenha realizado um DCP e comercializados estes créditos, a transportadora não poderá mais exigir os créditos, pois caberá neste caso a duplicidade.

Como se vê, são inúmeras as dificuldades para definir, neste caso, quem seria de fato o dono dos créditos gerados. Percebe-se aqui a necessidade de um norte que sinalize como estes projetos deverão ser implementados para que haja uma definição de quem de fato deverá ter direito e fazer jus a estes créditos.

Capítulo 7

Conclusões e Sugestões

A CSP apresenta graves problemas advindos da acelerada urbanização e do processo de industrialização. Com um número cada vez maior de veículos circulando por suas vias, agrava-se o número de congestionamentos, fazendo com que a poluição do ar aumente cada vez mais, assim como a emissão dos gases de efeito estufa, que não são impróprios para a saúde humana, mas por outro lado são responsáveis pelo aquecimento global do planeta.

Dentro deste contexto, a tese analisa a substituição da gasolina utilizada pelos veículos tradicionais pelo hidrogênio utilizado em veículos com CaCs para reduzir as emissões do principal gás de efeito estufa, o CO₂, assim como evitar as emissões de gases e particulados prejudiciais a saúde. Porém, é importante lembrar que não se trata apenas de uma questão de adaptar os veículos existentes para que possam rodar a hidrogênio, mas também de mudar uma tecnologia veicular para que seja possível utilizar um combustível mais limpo.

Assim, como apresentado no Capítulo 1, o principal objetivo da tese foi quantificar as reduções nas emissões de CO₂, na CSP, pela introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível a hidrogênio. Esse objetivo foi alcançado após a consolidação da metodologia de projeção da frota e da proposição de cenários futuros (até 2025), bem como a determinação das emissões associadas à produção de hidrogênio por fontes renováveis de energia (eólica, hidráulica, solar fotovoltaica e etanol).

A partir da projeção do crescimento da frota é possível perceber que se optando apenas pela tecnologia *flex-fuel* só se conseguirá uma redução nas emissões de CO₂ para a projeção conservadora onde a frota de veículos cresce de forma bem mais lenta. No caso da projeção otimista, as emissões de CO₂ disparam junto com o aumento da frota.

A partir da introdução da frota de veículos com CaCs é possível obter reduções significativas nas emissões de CO₂, tanto para a projeção otimista quanto para a conservadora. O cenário D, onde se substituem todos os veículos novos por veículos com CaCs, é onde acontecem as maiores reduções de CO₂, como esperado.

Outro ponto considerado são as emissões de CO₂ geradas durante a produção de hidrogênio (emissões de CO₂ geradas no ciclo de vida do combustível). Apesar destas emissões serem pequenas frente às emissões geradas pelos veículos a gasolina na CSP, elas são importantes para a tomada de decisão de onde se deve produzir o hidrogênio que irá abastecer a frota. Neste trabalho, foram consideradas para a produção de hidrogênio quatro fontes renováveis: eólica, fotovoltaica, hidráulica e biomassa. Das fontes apontadas, a eólica foi a que apresentou menor emissão de CO₂. Em contrapartida, as emissões da fonte fotovoltaica foram as mais altas.

O trabalho também permite observar como é lento o processo, neste caso de redução de emissões de CO₂, quando se tem que introduzir uma nova tecnologia. É possível perceber o quanto a frota antiga dilui os efeitos obtidos com a introdução da frota de veículos com CaCs, fazendo com que as melhorias advindas destes veículos limpos demorem mais tempo para surtirem os efeitos desejados. A partir deste resultado também é possível concluir que no caso do sistema de transporte individual, ao trocar o combustível fóssil por qualquer outro combustível, que venha a implicar em mudanças tecnológicas nos veículos, conseqüentemente os efeitos demoraram mais para aparecerem, pois o envelhecimento da frota e a demora para substituí-los retardam ainda mais os efeitos desejados.

Também é importante levar em conta que quanto menor for o percentual de introdução da frota de veículos mais demorado será para se obter o resultado esperado. Nessa tese, em 16 anos,

no cenário radical D, usando energia eólica para produzir hidrogênio, só é possível obter 70% de redução nas emissões de CO₂.

Se por um lado os efeitos são lentos, por outro as emissões evitadas crescem ano a ano porque a cada ano veículos com CaCs novos são adicionados a frota. Desta forma, os créditos de carbono que poderão ser adquiridos também serão crescentes e contínuos.

Porém, para implantar um projeto de MDL para os veículos particulares (individuais) é preciso definir de antemão quem será efetivamente o titular dos créditos obtidos. A discussão apresentada nesta tese demonstra como é difícil decidir sobre esta questão, pois este tema não tem ainda uma norma/lei que o direcione.

Por tudo isso, a primeira conclusão importante dessa tese diz respeito ao tempo necessário para que a introdução de mudanças tecnológicas em veículos novos (que não possam ser implantadas nos veículos já em circulação) tenham efeito significativo no conjunto da frota. Pois como demonstrado aqui mesmo em cenários radicais, onde 100% dos veículos novos contemplam a nova tecnologia, são necessários mais de 40 anos para que toda a frota incorpore a inovação.

Se isso ocorre apenas com uma fração dos veículos novos então, dependendo desta fração, os efeitos da nova tecnologia serão mais significativos muitas décadas depois do início de sua introdução. Esses fatos foram observados nessa tese ao se tratar dos veículos com CaCs a hidrogênio, mas são válidos para qualquer outra tecnologia automotiva que não possa ser adaptada aos veículos em circulação, como os híbridos, os elétricos, entre outros.

Situações onde praticamente 100% dos veículos novos possuíam inovações tecnológicas não são raras e o Brasil é um exemplo disso. Tanto no caso dos veículos a álcool (final dos anos 70 e início dos anos 80 do século passado) como para os *flex fuel* atualmente essa situação já ocorreu e perdurou por vários anos. Entretanto, para que isso aconteça tem que existir ganhos econômicos evidentes para os proprietários dos veículos, sendo que em ambos os casos citados houve visível vantagem no custo do quilômetro rodado dos novos veículos.

Vale lembrar ainda outra situação, onde a inovação foi introduzida “por decreto”, que foi o uso do sistema de injeção eletrônica em substituição ao sistema de carburação. Uma medida do governo proibiu na década de 90 a venda de veículos novos sem injeção eletrônica, uma vez que nesse caso as vantagens aos consumidores não eram tão evidentes, principalmente em vista do maior preço dos veículos.

Apesar desses casos mostrarem que o cenário D adotado nesta tese não é de forma alguma impossível, no entendimento da autora esse é um cenário pouco provável, considerando que os veículos com CaCs são mais caros que os convencionais, que ainda necessitam de uma rede de distribuição de hidrogênio e que suas maiores vantagens, a redução das emissões de poluentes e GEEs, não se constituem em questões de primeira ordem para o Brasil. Assim, outra conclusão do trabalho é a verificação de que a redução das emissões de CO₂ na CSP será por algumas décadas pouco expressiva, mesmo que a tecnologia dos veículos com CaCs venham a ser introduzidas nos próximos anos. Essa conclusão está baseada na manutenção dos fatores fundamentais que influenciam o setor de transporte, sendo que as alterações profundas como elevação dos preços do petróleo acima de US\$100/barril ou o agravamento das mudanças climáticas, poderão alterar completamente o quadro atual, fazendo com que essa tecnologia seja introduzida de forma mais rápida.

Por fim, esta tese contempla um conjunto de estudos sobre a tecnologia dos veículos com CaCs a hidrogênio, no qual considerou-se a situação mais conveniente para a sua introdução, a CSP, que no Brasil apresenta os maiores problemas ambientais relacionados ao uso de veículos urbanos. Nesses estudos foram analisadas as viabilidades técnicas dos veículos e para a implantação da rede de abastecimento (Ferreira, 2007), estimou-se as reduções das emissões de poluentes (Araújo, 2004) e de internações por problemas respiratórios (Esteves, 2007) pela introdução dessa tecnologia e, finalmente, as reduções de CO₂ e obtenção dos créditos de carbono.

Como conclusão geral constatou-se que, apesar de sua viabilidade técnica, haverá grandes dificuldades para a introdução de uma frota significativa desses veículos no Brasil, uma vez que

isso não será fácil nem mesmo na situação mais favorável: a CSP. De fato, estes estudos indicaram que as vantagens ambientais serão diluídas pela frota convencional em circulação e os ganhos serão sensíveis apenas no médio e longo prazo. Apesar dos veículos com CaCs começarem a ser comercializados em 2008, seus preços serão mais elevado do que os veículos convencionais, dificultando a sua comercialização na ausência de uma política de incentivos. Da mesma forma, o hidrogênio é um combustível mais caro por unidade de energia que os convencionais e, mesmo que utilizado com maior eficiência nas CaCs, acaba por proporcionar um custo do quilômetro rodado igual ou superior. Portanto, salvo a ocorrência de situações extremas, como já mencionado, de grande impactos do setor de transporte, os veículos com CaCs a hidrogênio não deverão ser introduzidos de imediato no país, nem de forma intensa, de maneira que ainda há tempo para que a tecnologia das CaCs a hidrogênio e /ou de materiais e componentes utilizados em sua fabricação sejam desenvolvidos no Brasil, bem como aquelas tecnologias de produção do hidrogênio, principalmente a partir de fontes renováveis de energia, o que permitirá ao país participar de forma não marginal dessa mudança paradigmática do setor de transporte.

A partir de tudo isso, como sugestão de trabalho futuro propõe-se uma análise mais ampla das emissões de CO₂ considerando o ciclo de vida do veículo elétrico e das células a combustível, comparando-se os ciclo de vida do veículo tradicional. Deste modo, pode-se traçar um cenário de linha de base mais completo.

Outra sugestão de trabalho é a busca de uma metodologia que determine concretamente a questão da titularidade dos créditos. Para tanto, será necessário um estudo mais amplo para o caso do setor de transporte, principalmente porque os projetos desenvolvidos neste setor são poucos e quando acontecem se referem a frotas cativas.

Referências Bibliográficas

ALTVATER, Elmar. Introdução: Porque o desenvolvimento é contrário ao meio ambiente. **O preço da riqueza**. São Paulo: UNESP, 1995. p. 21-41.

ÁLVARES JR, Olimpio de Melo, LINKE, Renato Ricardo Antônio. **Metodologia simplificada de cálculos das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. 2002. PDF.

AQUINO, Willian, PEREIRA, Livia Fernandes, LOPES, Luís Fernando Azevedo. Aspecto da crise do transporte urbano. **Revista dos Transportes Públicos**. ANTP, 2000, 4º trimestre. p 39.

ARAÚJO, Paula Duarte. **Impactos Ambientais e na Matriz de Consumo de Combustíveis pela Introdução de uma Frota de Veículos Leves com Células a Combustível na Cidade de São Paulo - SP**. 2004. 145 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.

ARB - AIR RESOURCES BOARD. **Status Report on the California Air Resources Board's Zero Emission Vehicle Program**. Disponível em:
<<http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zevreview.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2007

BORGES, Rafaela. **Chevrolet Celta x Fiat Palio x VW Gol**. Disponível em: <http://www.carsale.uol.com.br/teste/teste_060707compactos.shtml>. Acesso em: 22 setembro 2007.

CaFCP- CALIFORNIA FUEL CELL PARTNERSHIP. **Fuel Cell Vehicles**. Disponível em: <<http://www.cafcp.org/fuel-velh-cars-print.html>>. Acesso em: 08 set. 2007.

CAMARGO, João Carlos. **O Etanol como Fonte de Hidrogênio para Células a Combustível na Geração Distribuída de Energia Elétrica**. 2004. 151 p. Tese (Doutorado) - Planejamento em Sistemas Energéticos/UNICAMP, Campinas.

CAPOOR, Karan, AMBROSI, Philippe. **State and Trends of the Carbon Market 2007**. Washington, D.C.: The World Bank, 2007. 45p.

CARBONO BRASIL. **Biblioteca**. Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com/>>. Acesso em: 15 set. 2007.

CARROS NA WEB. **Gol Plus 1.0 GIV**. Disponível em: <<http://www.carrosnaweb.com.br>>. Acesso em: 22 setembro 2007.

CASTRO, Alexandre Correia. **Oportunidades de projetos de redução de emissões de gases do efeito estufa no setor de transportes através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Transporte/UFRJ, Rio de Janeiro.

CAVALCANTI, Clóvis. Política de governo para o desenvolvimento sustentável: uma introdução ao tema e a esta obra coletiva. In: CAVALCANTI, Clóvis. **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. 4 ed. São Paulo: Cortez: Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2002. p. 21–40.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2006**. São Paulo: CETESB, 2007. 167 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 mai. 2007.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. Projecto de comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu. **Resultados da análise da estratégia comunitária para a redução das emissões de CO₂ dos veículos de passageiros e dos veículos comerciais ligeiros**. Bruxelas. 7 Fev 2007. PDF.

CONEJERO, Marco Antonio. **Marketing de créditos de carbono: Um estudo exploratório**. 2006. 2447 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade/USP, Ribeirão Preto.

COPPE/MCT. Primeiro Inventário brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito estufa. **Emissões de Dióxido de Carbono e de metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros**. Brasília, 2006.120p.

CORTEZ FERREIRA, Luiz Antonio. Mudanças Climáticas: Oportunidades e Desafios para o setor de Transporte. In: 6ª Conferência Municipal Produção Mais Limpa. Aquecimento Global e a Cidade de São Paulo: Causa e efeitos. 22 de agosto de 2007, São Paulo. Apresentação em PPT. Disponível em: <<http://www.natalini.com.br/arquivos/textos/Palestras%20autorizadas%20para%20divulgacao.mht>>. Acesso em: 28 set. 2007.

CRAWLEY, Gemma. **Fuel Cell Today Market Survey: Light Duty Vehicles**. Fuel Cell Today, Fev 2007. Disponível em : <http://www.fuelcelltoday.com/FuelCellToday/FCTFiles/FCTArticleFiles/Article_1158_MarketSurvey2007.pdf>. Acesso em: 08 set. 2007.

CUNHA, Kamyla Borges da. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2005. 212 p. Dissertação (Mestrado). Dissertação (Mestrado) – Planejamento em Sistemas Energéticos/UNICAMP, Campinas.

CUNHA, Kamyla Borges da, WALTER, Arnaldo César, REI, Fernando C. Fernandes. Estado de implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil. In: AGRENER GD - Biocombustíveis, 2006, Campinas. **Anais...**, 2006. CD-ROM.

DUBEUX, Carolina Burle Schmidt. **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**. 2007. 247 p. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros**. Rio de Janeiro: 2000. 176p.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Fuel Cell & Vehicle. **Basic Inform**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/fuelcell/basicinfo.htm>>. Acesso em: 15 set. 2007.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016. Capítulo III. Oferta de Energia Elétrica. **Parte 3 – Análise Socioambiental do sistema Elétrico**. Disponível para Consulta Pública em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em: 08 set. 2007.

ESTEVES, Gheisa Roberta Telles. **Custo da Poluição dos Transportes na Saúde Pública da Região Metropolitana e Cidade de São Paulo**. 2007. 143p. TESE (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, SP.

EUROPAEU. **The fuel cells and hydrogen joint technology initiative**. MEMO/07/404.

Disponível em:

<<http://europa.eu/rap/pressReleases.Action.do?reference=MEMO/07/404>>. Acesso em: 10 oct. 2007.

FERREIRA, Paulo Fabrício Palhavam. **Infra-estrutura para Uso Energético do Hidrogênio: Estações de Abastecimento para Veículos**. 2007. 144 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.

FUEL CELLS 2000. Fuel Cell in Transportation – Technology to Transform Our Future. **Fuel Cell Cars**. PDF. 7 ed. 2004. Disponível em:

<<http://www.fuelcells.org/info/charts/transbrochure.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2007.

FRAIDENRAICH, Naum. Energia Solar Fotovoltaica. In: TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Organizador). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: CENERGIA, 2003. p. 304–307.

FTHENAKIS, Vasilis M., KIM, Hyung Chul. Greenhouse–gas emissions from solar electric and nuclear power: a life-cycle study. **Energy Policy**, n.35, p.2549-2557, 2007.

GELLER, Howard Steven. **Revolução energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003. 300p.

GM. Technology. **GM Prepares Fuel Cell Technology for Future Production**. Disponível em:

<http://www.gm.com/explore/technology/news/2007/fuel_cells/fuel_cells_production_061507.jsp>. Acesso em: 08 set. 2007a.

_____. Our Products. **Hydrogen Fuel Cell Vehicles**. Disponível em:

<http://www.gm.com/explore/technology/fuel_cells/fact_sheets.jsp>. Acesso em: 08 set. 2007b.

GOMES NETO, Emílio Hoffmann. **Hidrogênio, Evoluir sem Poluir**. Curitiba: BRASIL H2 FUEL CELL ENERGY, 2005. 240p.

GRIECCO, Adriano. **Fiat Palio Fire x VW Gol 1.0 City**. Disponível em: <http://www.quatorrodas.abril.com.br/comparativos/conteudo_211384.shtml>. Acesso em: 22 setembro 2007.

H₂MOBILITY. **Apresenta foto do veículo Ford Edge**. Disponível em: <<http://www.h2mobility.org/>>. Acesso em Set. 2007a.

_____. **Apresenta foto do veículo GM GM HiWire**. Disponível em: <<http://www.h2mobility.org/>>. Acesso em Set. 2007b.

_____. **Apresenta foto do veículo Daimler F-Cell**. Disponível em: <<http://www.h2mobility.org/>>. Acesso em Set. 2007c.

HIDROGENOO. **Apresenta foto do veículo GM Sequel**. Disponível em: <<http://www.hidrogenoo.com/category/chevrolet/>>. Acesso em Set. 2007.

HONDA. **The Honda FCX**. Disponível em: <http://corporate.honda.com/environment/fuel_cells.aspx?id=fuel_cells_fcx>. Acesso em: 08 set. 2007a.

_____ **Apresenta foto do veículo Honda FCXV4**. Disponível em: <<http://world.honda.com/FuelCell/FCX/>>. Acesso em Set. 2007b.

_____. **Honda FCX becomes First hydrogen Fuel Cell Vehicle Acknowledged by IRS for \$12,000 Federal Tax Credit**. Disponível em: <<http://www.corporate.honda.com/press/article.aspx?id=4092honda>>. Acesso em: 08 set. 2007c.

_____. **Honda demonstrates the FCX Concept Vehicle.**

Disponível em:

<<http://www.world.honda.com/news2006/4060925FCXConcept>>.

Acesso em: 08 set. 2007d.

_____. **Apresenta foto do veículo Honda FCX Concept.** Disponível em:

<<http://world.honda.com/news/2007/c070625FCXConcept/photo/>>. Acesso em Set. 2007e.

_____. **Apresenta foto do veículo Honda FCX Concept.** Disponível em:

<<http://world.honda.com/news/2007/c070625FCXConcept/>>. Acesso em Set. 2007f.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Demográficos.** Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm>. Acesso em: 08 ago. 2007.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics.** 2007.

IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Agriculture, Forestry and Other Land Use.** 2006 Vol. 4. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_09_Ch9_Other_Land.pdf>. Acesso em: 08 set. 2007.

_____. Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. **Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima.** Tailândia. 30 Abr a 04 Mai 2007. 42p. PDF.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Avaliação Técnico Econômica de Modelos de Implantação da Inspeção Técnica de Veículos.** PDF. Recebido via e-mail em 18 jun. 2007.

JACOBI, Pedro Roberto, MACEDO, Laura Silvia Valente. **Consciência cidadã e poluição atmosférica: estado de situação na cidade de São Paulo**. CEPAL, 25 abr. 2000.

LARMINIE, James; DICKS, Andrew. **Fuel cell systems explained**. 2ed. England: Wiley, 2003.p.22-23.

LENZEN, Manfred, WACHSMANN, Ulrike. Wind turbines in Brazil and Germany: an example of geographical variability in life-cycle assessment. **Applied Energy**, n.77, p.119-130, 2004.

LOPES, Ignez Vidigal. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: Guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90p.

MACEDO, Isaías de Carvalho, LEAL, Manoel Regis Lima Verde, SILVA, João Eduardo Azevedo Ramos. **Balço das Emissões de Gases de Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol no Brasil**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo: Abril de 2004.

MATTOS, Laura B. R. de. **A importância do setor de transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa**. 2001.179 f. Dissertação (Mestrado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Protocolo de Quioto**.

Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/quioto/Default.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2005a.

_____. **Ponto de vista do Brasil sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM)**.

Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/quioto/dakar.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2005b. (trocar a e b no texto).

_____ – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Primeiro Inventário brasileiro de emissões de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência. **Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis**. Brasília, 2006. 95p.

_____. *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no Mundo*. Última versão 07 out 2007. PDF.

MURGEL, Eduardo M., SZWARC, Alfred, SANTOS, Maira Daise S. R., BRANCO, Gabriel M., CARVALHO, Homero. Inventário de emissão veicular: metodologia de cálculo. **Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v.26, n.3, p. 292-296, set. 1987.

NOVAES, Eduardo Sales. **Proposta revisada de critérios e indicadores de elegibilidades para avaliação de projetos candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. Abr/2002. Disponível em: <http://www.centroclima.org.br/proj_sust.htm>. Acesso em: 15 jan 2004.

OERTEL, Dagmar, FLEISCHER, Torsten. Future Perspectives of the Fuel Cell Technology – A Technology Assessment Study for the German Parliament. In: HYFORUM- THE INTERNATIONAL HYDROGEN ENERGY FORUM 2000, 2000, Munich. **Anais**,2000. p. 367-372.

OLIVEIRA, Tião. **Gol: 20 anos na liderança**. Disponível em: <http://blog.estadão.com.br/blog/jc/?title+gol_20_anos_na_liderança&more=1&c=1&tb=1&pb=1>. Acesso em: 22 setembro 2007

PACCA, Sergio, SIVARAMAN, Deepak, KEOLEIAN, Gregory A.. Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies an systems. **Energy Policy**, n.35, p.3316-3326, 2007.

PEREIRA, André S., MAY, Peter H. Economia do aquecimento global. In: MAY, Peter H., LUSTOSA, Maria Cecília, VINHA, Vália da. **Economia do Meio Ambiente**. Teoria e Prática. 2ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. p.219 - 244

POST – PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Carbon Footprint of Electricity Generation**. London, n 268, October 2006. Disponível em: <<http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf>>. Acesso em: 15 set 2007.

PRODESP – COMPANHIA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário da Frota no Estado de São Paulo**. Informação fornecida pela CETESB por e-mail particular no período de 2003 a 2007.

REIS, Marcelo Miranda. **Custos Ambientais Associados à Geração Elétrica: Hidrelétricas x Termelétricas a Gás Natural**. 2001. 200 p. Dissertação (Mestrado) - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

RIBEIRO, Suzana Kahn, COSTA, Cláudia do Valle, DAVID, Eduardo Gonçalves, REAL, Márcia Valle, D'AGOSTO, Márcio de Almeida. **Transporte e Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: Mauad, 2000. 108p.

ROCHA, Marcelo Theota. Mudanças climáticas e mercado de carbono. In: SANQUETA, Carlos Roberto, BALBINOT, Rafaelo, ZILIOOTTO, Marco Aurélio B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: 2004. p.39 – 54

SACHS, Ignacy. A Revolução Energética do Século XXI. In: ESTUDOS AVANÇADOS. **Dossiê Energia**. São Paulo: IEA, 2007. V 21, n 59. Jan – Abril. p 21 - 38.

SCANDIFFIO, Mirna Ivonne Gaya. **Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil – cenários 2004 - 2024**. 1998.182p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – **População e Estatísticas Vitais**. Disponível em:

<<http://www.seade.gov.br/master.php?opt+vmenu&tema=6>>. Acesso em: 08 ago. 2007.

SILVA, Ennio Peres da. **Introdução à Tecnologia e economia do Hidrogênio**. Campinas: Editora da Unicamp, 1991. p.01 - 78.

SILVA, Ennio Peres da, CAMARGO, João Carlos, SORDI, Alexandre, SANTOS, Ana Maria Resende. Recursos Energéticos, Meio Ambiente e Desenvolvimento. **MultiCiência**. Campinas, 01 Out. 2003.

SILVA, Neilton Fidelis da. **Fontes Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: o Caso da Energia eólica**. 2006. 263 p. Tese (Doutorado) - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

SPATH, Pamela, L., MANN, Margaret K. **Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen Production via Wind/Electrolysis**. NREL/MP-560-35404, February, 2004.

SUAREZ, Miriam Liliana Hinostroza. **Política Energética e Desenvolvimento Sustentável: Taxa sobre o Carbono para Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 2000. 300 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica/Unicamp, Campinas.

TOYOTA. **Toyota`s Fuel Cell Hybrid Vehicles (FCHV)**. Disponível em: <http://www.toyota.com/about/environment/technology/fuelcell_hybrid.html>. Acesso em: 08 set. 2007.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **CDM Statistics**. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>>. Acesso em: 13 out 2007.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Freedom Car & vehicle technologies program. **Just the basics**. PDF, Ago 2003. Disponível em:
<http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_fuel_cell.pdf>. Acesso em: 08 set. 2007.

WACHSMANN, Ulrike. Impactos da Variabilidade Geográfica na Análise de Ciclo de Vida de um Sistema Energético: O Exemplo de uma Turbina Eólica. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2004, Rio de Janeiro. **Anais...**, 2004. p. 300-307. CD-ROM.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. **Policy Directions to 2050: A business contribution to the dialogues on cooperative action**. 2007. Disponível em:
<<http://www.wbcsd.org>>. Acesso em: 15 mai 2007.

Anexo I

Cálculos Estequiométricos

Cálculo da parcela emitida de CO₂ pela gasolina

A parcela emitida de CO₂ pela gasolina depende da composição de gasolina pura e etanol anidro da mistura que varia ano a ano. Para 2.006 a composição da gasolina C foi (% em volume) de 80% gasolina pura e 20% de etanol anidro. Devido ao fato dos fatores de emissões de CO₂ serem ensaiados pela CETESB com a composição E22 (78% gasolina pura e 22% etanol anidro) este será o percentual utilizado para este cálculo.

78 % gasolina pura

22% de etanol anidro

densidade da gasolina = 0,7350 kg/L

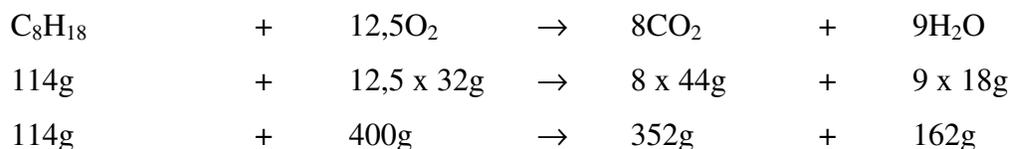
densidade do etanol = 0,7915 kg/L

Composição de 1 mol de gasolina:

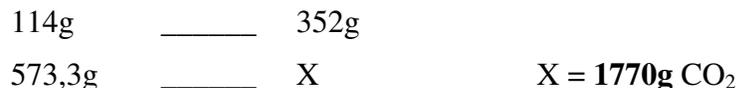
0,78 x 0,735 kg/L = 0,5733 kg de C₈H₁₈ (gasolina pura)

0,22 x 0,7915 kg/L = 0,1741 kg de C₂H₅OH (etanol)

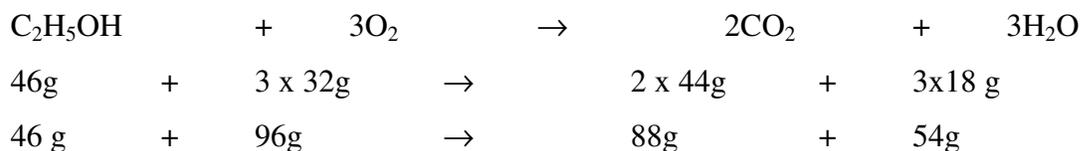
A queima de 1 mol de gasolina apresenta a seguinte relação estequiométrica:



Para a queima de 573,3g de gasolina a quantidade em massa de CO₂ será:



A queima de 1 mol de etanol apresenta a seguinte relação estequiométrica:



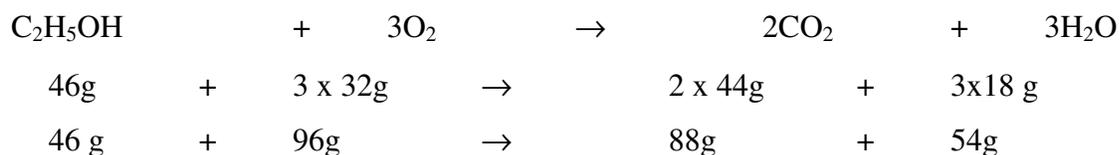
Para a queima de 174,1g de etanol a quantidade em massa de CO₂ será:

$$\begin{array}{rclcl} 46\text{g} & \text{-----} & 88\text{g} & & \\ 174,1\text{g} & \text{-----} & X & & X= 333\text{g CO}_2 \end{array}$$

Conclui-se que a massa total de CO₂ emitida na queima de 1 litro de gasool E22 é de 2.103g, sendo que a porção fóssil da queima dos 78% de gasolina corresponde a 84,2% do total e a porção renovável dos 22% do etanol anidro corresponde a 15,8% do total de CO₂ emitido.

Cálculo da parcela emitida de CO₂ pelo álcool hidratado

A queima de 1 mol de etanol apresenta a seguinte relação estequiométrica:



$$1 \text{ litro de etanol} = 0,7915\text{kg} = 791,5\text{g}$$

Para a queima de 791,5g de etanol a quantidade em massa de CO₂ será:

$$\begin{array}{rclcl} 46\text{g} & \text{-----} & 88\text{g} & & \\ 791,5\text{g} & \text{-----} & X & & X= 1.514\text{g CO}_2 \end{array}$$

Anexo II

AII. 1 – Desagregação dos veículos com mais de 11 anos de uso: distribuição logarítmica:

Ano de uso	% da frota	Ano de uso	% da frota
12	3,7	28	1,2
13	3,5	29	1,1
14	3,3	30	0,9
15	3,1	31	0,8
16	2,9	32	0,8
17	2,7	33	0,7
18	2,5	34	0,6
19	2,3	35	0,5
20	2,2	36	0,4
21	2,0	37	0,3
22	1,9	38	0,2
23	1,8	39	0,2
24	1,6	40	0,1
25	1,5	41	0,0
26	1,4		
27	1,3	Total	45,2

Equação: % da frota = $-1,81163083 \cdot \ln(\text{Ano de uso}) + 7,31513967$

Normalização:

- (a) ajuste para zero em 41 anos de uso;
- (b) ajuste para soma total igual a 45,2%

AII. 2 – Frota total corrigida para a CSP

Ano	Frota Total CSP
1996	3.784.705
1997	3.795.360
1998	3.854.828
1999	3.897.414
2000	4.007.948
2001	4.145.483
2002	4.257.839
2003	4.370.062
2004	4.485.323
2005	4.095.726

Fonte: Elaboração própria.

AII. 3– Projeção da Frota de Veículos da CSP pelo Método Direto – Função Exponencial

Ano	Frota
2006	4.145.212
2007	4.260.957
2008	4.379.935
2009	4.502.235
2010	4.627.949
2011	4.757.174
2012	4.890.007
2013	5.026.550
2014	5.166.905
2015	5.311.179
2016	5.459.482
2017	5.611.925
2018	5.768.625
2019	5.929.701
2020	6.095.275
2021	6.265.471
2022	6.440.420
2023	6.620.255
2024	6.805.110
2025	6.995.127

Fonte: Elaboração própria.

AII. 4 - Comparação das projeções populacionais do IBGE e da Fundação SEADE

Abaixo segue uma análise comparativa das projeções populacionais municipais disponibilizadas por duas instituições responsáveis por análise de dados estatísticos: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação SEADE).

No primeiro item será feita uma breve descrição das metodologias de projeção populacional utilizadas pelas instituições. No segundo item serão apresentadas as projeções calculadas para a CSP pelas duas fontes.

A - Metodologias de Cálculo

A.1 - IBGE

Projeção da população do Brasil: o método das componentes demográficas

Para realizar a projeção da população do Brasil apresentada neste documento foi utilizado o chamado método das componentes, o qual incorpora as informações sobre as tendências observadas da mortalidade, da fecundidade e da migração em nível nacional. O horizonte da projeção compreende um Intervalo de 70 anos, ou seja, de 1980 a 2050. São produzidas estimativas e projeções dos níveis e padrões de cada uma destas componentes.

O método das componentes demográficas para projetar populações por sexo e idade tem sua origem na conhecida equação compensadora ou equação de equilíbrio populacional cuja expressão analítica é descrita da seguinte forma:

$$P(t+n) = P(t) + B(t,t+n) - D(t,t+n) + I(t,t+n) - E(t,t+n), \text{ onde;}$$

$P(t+n)$ = população no ano $t+n$,

$P(t)$ = população no ano t ,

$B(t,t+n)$ = nascimentos ocorridos no período $t,t+n$,

$D(t,t+n)$ = óbitos ocorridos no período $t,t+n$,

$I(t,t+n)$ = imigrantes no período $t,t+n$,
 $E(t,t+n)$ = emigrantes no período $t,t+n$,
 t = momento inicial da projeção e
 n = intervalo projetado.

A equação descrita acima é mostra claramente como os componentes da dinâmica demográfica interferem na composição da população futura.

Para a determinação das populações de partida da projeção foi considerada a estrutura etária por sexo da população residente no Brasil enumerada pelo Censo Demográfico de 1980. A esse respeito, é importante mencionar que a população de partida da projeção resultou de uma avaliação prévia elaborada com os Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991 e 2000.

O método de tendência de crescimento demográfico adotado tem como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em n áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores (Madeira e Simões, 1972 In: IBGE, 2007).

Considere-se, então, uma área maior cuja população estimada em um momento t é $P(t)$. Subdivide-se esta área maior em n áreas menores, cuja população de uma determinada área i , na época t , é

$P_i(t)$; $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Desta forma, tem-se que:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t)$$

Decomponha-se, por hipótese, a população desta área i , em dois termos: $a_i P(t)$, que depende do crescimento da população da área maior, e b_i . O coeficiente a_i é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior, e b_i é o denominado coeficiente linear de correção. Como consequência, tem-se que:

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i$$

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos. Sejam t_0 e t_1 , respectivamente, as datas dos dois Censos. Ao substituir-se t_0 e t_1 na equação acima, tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i$$

Através da resolução do sistema acima, tem-se que:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)}$$

$$P(t_1) - P(t_0)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0)$$

Deve-se considerar nas expressões anteriores:

Época t_0 : 1º de setembro de 1991 (Censo Demográfico), por exemplo

Época t_1 : 1º de agosto de 2000 (Censo Demográfico), por exemplo

Época t : 1º de julho do ano t (ano estimado)

Estimativas para as Unidades da Federação

A partir da aplicação do modelo descrito anteriormente, foram estimadas as populações de cada uma das Unidades da Federação, considerando-se como área maior o Brasil, cuja projeção foi elaborada pelo método das componentes demográficas, e como áreas menores as próprias

Unidades da Federação. As populações das Grandes Regiões foram obtidas a partir da soma das estimativas populacionais das suas respectivas Unidades da Federação. Desta forma, foram obtidas as populações residentes totais estimadas, em 1º de julho do ano t para as 27 Unidades da Federação.

Estimativas para os Municípios

Estas estimativas foram obtidas, também, pela aplicação do modelo de tendência, ressaltando-se que os Municípios foram considerados como áreas menores em relação às Unidades da Federação correspondentes.

A.2 - Fundação SEADE

Sistema de Projeções Populacionais. A Fundação SEADE realiza, mensalmente, uma pesquisa nos Cartórios de Registro Civil de todos os municípios do Estado de São Paulo, coletando informações detalhadas sobre o registro legal dos eventos vitais – nascimentos, casamentos e óbitos. Estas informações, associadas àquelas provenientes dos Censos Demográficos, possibilitam o acompanhamento contínuo da dinâmica demográfica do Estado de São Paulo de forma tanto agregada como desagregada por regiões e municípios.

Esse conjunto detalhado de informações habilita a Fundação SEADE a aplicar o método dos componentes demográficos, processo analítico que destaca o papel da fecundidade, da mortalidade e da migração no crescimento populacional, permitindo a construção de hipóteses de projeções mais seguras e eficazes. O modelo de projeção considerado adota uma hierarquia, que parte da projeção para o total do Estado e se desagrega em regiões administrativas e municípios.



A aplicação deste método exige estimativas das funções de mortalidade, fecundidade e migração para cada área a ser projetada. Para que estas estimativas sejam realizadas e reflitam a real dinâmica demográfica regional e municipal, é preciso contar com dados precisos e detalhados por idade e sexo.

O método dos componentes demográficos parte de uma divisão da população de base em coortes ou grupos etários definidos. Para cada coorte, são considerados os componentes do crescimento populacional, que possibilitam determinar a população do período de projeção. No caso específico das populações projetadas ora disponibilizadas, a população de base corresponde àquela recenseada em 2000, pelo IBGE.

A.3 - Conclusão

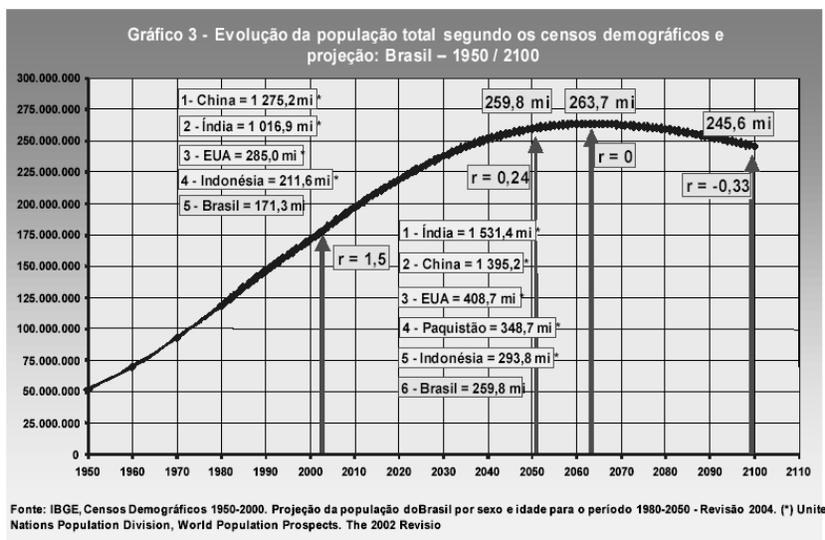
Como puderam ser observadas na descrição das metodologias, as duas instituições usam as mesmas ferramentas estatísticas para as suas projeções. A diferença reside na organização da projeção. Enquanto na metodologia do IBGE, os dados iniciais são as projeções efetuadas para o Brasil, que em seguida são desmembradas para os Estados e depois para os municípios inseridos em cada um dos estados. Já para a Fundação SEADE as projeções iniciais são efetuadas para o Estado de São Paulo e então são desmembradas entre as Regiões Administrativas e depois para os municípios.

Tais diferenças metodológicas são capazes e podem ser responsáveis por resultados diferentes nas projeções das duas fontes. A seguir serão apresentadas as projeções populacionais disponibilizadas pelo IBGE e SEADE.

B - Projeções Populacionais

B.1 - IBGE

Desde os anos 1960 que a taxa de crescimento da população brasileira vem experimentando paulatinos declínios, intensificando-se juntamente com as quedas mais pronunciadas da fecundidade. A taxa de crescimento da população diminuiu de 3% ao ano, no período 1950-1960, para 1,44% ao ano, em 2004, e poderá alcançar 0,24%, em 2050, com uma população projetada em 259,8 milhões de habitantes. Espera-se que a população do Brasil atinja o chamado “crescimento zero” por volta de 2062, apresentando, a partir daí, taxas de crescimento negativas.



No caso dos dados do IBGE, somente estão disponibilizadas estatísticas municipais até o ano de 2006. As projeções populacionais foram efetuadas somente para as Unidades da Federação, portanto a partir desse período as projeções municipais foram obtidas através dos dados disponibilizados para as UFs. Na tabela 1 estão apresentadas as projeções populacionais para o Estado e a Cidade de São Paulo.

Tabela 1

São Paulo			São Paulo		
Ano	Cidade	Estado	Ano	Cidade	Estado
1992	9.727.889	32.707.871	2007		41.663.522
1993	9.842.059	33.285.837	2008		42.264.205
1994	9.931.038	33.865.381	2009		42.856.787
1995	10.017.821	34.444.599	2010		43.440.743
1996	9.839.066	35.024.812	2011		44.014.354
1997	9.887.614	35.607.033	2012		44.576.288
1998	9.927.868	36.192.944	2013		45.127.210
1999	9.968.485	36.785.780	2014		45.667.725
2000	10.009.231	37.384.512	2015		46.197.939
2001	10.499.133	37.986.966	2016		46.718.359
2002	10.600.060	38.595.825	2017		47.229.528
2003	10.677.019	39.210.662	2018		47.732.010
2004	10.838.581	39.827.022	2019		48.226.105
2005	10.927.985	40.442.795	2020		48.712.390
2006	11.016.703	41.055.734			

Fonte: IBGE, 2007.

Para a obtenção das projeções populacionais para a CSP no período de 2007 até 2020, foi projetada a participação da população da cidade dentro da população do estado até o ano de 2020. A projeção foi efetuada utilizando a seguinte função abaixo, cuja projeção encontra-se na tabela 2.

$$y = -1E-05x^3 + 0,0005x^2 - 0,0074x + 0,3078$$

Tabela 2

Ano	Participação	Ano	Participação
1992	29,74%	2009	27,11%
1993	29,57%	2010	27,10%
1994	29,33%	2011	27,07%
1995	29,08%	2012	27,02%
1996	28,09%	2013	26,94%
1997	27,77%	2014	26,83%
1998	27,43%	2015	26,67%
1999	27,10%	2016	26,46%
2000	26,77%	2017	26,20%
2001	27,64%	2018	25,87%
2002	27,46%	2019	25,48%
2003	27,23%	2020	25,01%
2004	27,21%	2021	24,45%
2005	27,02%	2022	23,81%
2006	26,83%	2023	23,07%
2007	27,12%	2024	22,23%
2008	27,12%	2025	21,27%

Visto que as projeções populacionais para o Estado também só estão disponibilizadas até o ano de 2020, a partir dessa data, as projeções populacionais da UF foram calculadas seguindo o mesmo método apresentado acima. A função utilizada na projeção foi a que segue:

$$y = -0,000000005x^3 - 0,000003483x^2 + 0,000349745x + 0,215132010$$

Na tabela 3 estão apresentadas as projeções populacionais para a CSP no período de 1992 até 2025.

Tabela 3

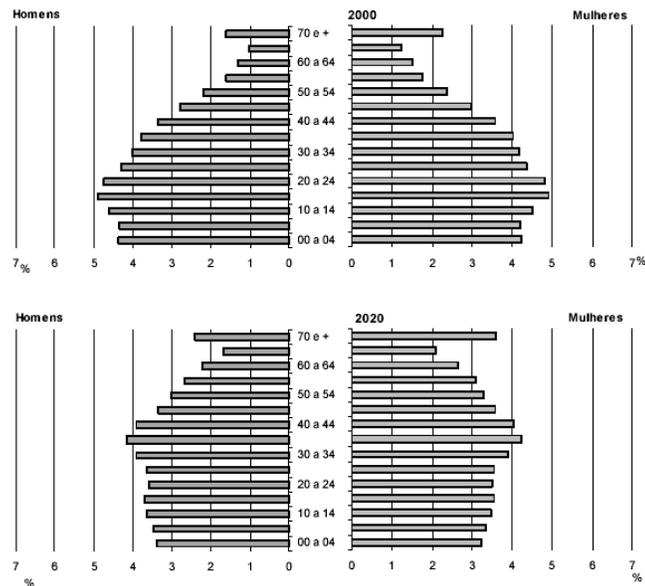
Ano	População	Ano	População
1992	9.727.889	2009	<i>11.619.126</i>
1993	9.842.059	2010	<i>11.771.707</i>
1994	9.931.038	2011	<i>11.914.615</i>
1995	10.017.821	2012	<i>12.044.214</i>
1996	9.839.066	2013	<i>12.157.270</i>
1997	9.887.614	2014	<i>12.250.399</i>
1998	9.927.868	2015	<i>12.319.955</i>
1999	9.968.485	2016	<i>12.362.280</i>
2000	10.009.231	2017	<i>2.373.607</i>
2001	10.499.133	2018	<i>12.350.061</i>
2002	10.600.060	2019	<i>12.287.587</i>
2003	10.677.019	2020	<i>12.182.097</i>
2004	10.838.581	2021	<i>12.028.459</i>
2005	10.927.985	2022	<i>11.823.377</i>
2006	11.016.703	2023	<i>11.561.977</i>
2007	<i>11.298.847</i>	2024	<i>11.239.561</i>
2008	<i>11.460.467</i>	2025	<i>10.851.372</i>

Nota: Números normais são dados do IBGE, números em itálicos são projeções.

B.2 - Fundação SEADE

A redução esperada das taxas anuais de crescimento deverá ser gradativa, passando de um incremento médio de 1,56% ao ano, em 2000-2005, para aproximadamente 0,90% no quinquênio 2015-2020. Uma importante consequência das tendências esperadas para os componentes demográficos é a expressiva modificação do perfil populacional do Estado de São Paulo, nos próximos 20 anos. A pirâmide etária projetada para 2020 revela uma população marcadamente adulta, em pleno processo de envelhecimento populacional.

Pirâmide Etária da População, por Sexo
Estado de São Paulo
2000-2020



Fonte: Fundação Seade.

Com base nos dados para o Estado, e fazendo uso do método de tendência de crescimento demográfico, foram obtidos os dados de população da CSP. Nos anos compreendidos entre 2010 e 2015, 2015 e 2020, e 2020 e 2025, os dados populacionais foram calculados por interpolação, visto que a Fundação SEADE não disponibilizou tais dados. A função que melhor se ajustou aos dados foi um polinômio de grau dois, descrito a seguir:

$$y = -874,820x^2 + 3552569,100x - 3595350457,601$$

Na Tabela 4 estão apresentados os dados de projeção populacional calculados pela Fundação SEADE.

Tabela 4

Ano	População	Ano	População
1994	9.869.990	2010	10.970.942
1995	9.772.962	2011	<i>10.916.484</i>
1996	9.836.129	2012	<i>10.953.151</i>
1997	9.856.879	2013	<i>10.988.069</i>
1998	9.918.862	2014	<i>11.021.238</i>
1999	10.305.049	2015	11.106.417
2000	10.398.576	2016	<i>11.082.325</i>
2001	10.489.159	2017	<i>11.110.244</i>
2002	10.552.311	2018	<i>11.136.414</i>
2003	10.615.844	2019	<i>11.160.834</i>
2004	10.679.760	2020	11.210.909
2005	10.744.060	2021	<i>11.241.018</i>
2006	10.789.058	2022	<i>11.256.690</i>
2007	10.834.244	2023	<i>11.270.612</i>
2008	10.879.619	2024	<i>11.282.784</i>
2009	10.925.185	2025	11.300.189

Notas: Números normais são dados do SEADE, números em itálicos são projeções.

Além do mais, segundo o SEADE, as regiões com maior concentração populacional continuarão sendo a Região Metropolitana de São Paulo (47%) e a RA de Campinas (15,2%), enquanto as menores permanecerão nas RAs de Registro (0,7%) e Barretos (1,0%). É interessante notar que as áreas de maior extensão territorial, com exceção da RA de Campinas, são aquelas com menores densidades populacionais, enquanto a segunda menor área geográfica – RMSP – é mais densa. E que também no que concerne a composição municipal, espera-se um panorama não muito diferente do registrado em 2000, ou seja, a maior concentração populacional continuará na parte leste do Estado. Com isso seria contraditório utilizar projeções de decréscimo populacional para o município. Talvez o caminho para corrigir tal distorção fosse o cálculo da participação do município e do Estado de forma normalizada. Ou seja, no caso do estado teria que ser projetada a participação de todas as UFs até o ano de 2025, e então feita a normalização de tais participações para que estejam inseridas no intervalo de 0 a 100. No caso do município, procedimento similar seria adotado. Nesse caso seria necessária a projeção das participações de todos os municípios

pertencentes ao Estado de São Paulo até o ano de 2025, e normalização das projeções no intervalo de 0 a 100.

AII. 5 - Projeção da Frota de Veículos da CSP pelo Índice de Motorização

Ano	Frota CSP
2006	4.099.842
2007	4.117.013
2008	4.134.255
2009	4.151.570
2010	4.168.958
2011	4.148.264
2012	4.162.198
2013	4.175.466
2014	4.188.070
2015	4.220.438
2016	4.211.284
2017	4.221.893
2018	4.231.837
2019	4.241.117
2020	4.260.145
2021	4.271.587
2022	4.277.542
2023	4.282.833
2024	4.287.458
2025	4.294.072

Fonte: Elaboração própria.

AII.6 - Taxa de sucateamento do IPT

Anos de uso	Taxa (%)	Anos de uso	Taxa (%)
0	0,0	16	28,5
1	1,4	17	33,0
2	2,8	18	37,5
3	4,2	19	42,0
4	5,6	20	46,5
5	7,0	21	51,0
6	8,4	22	55,5
7	9,8	23	60,0
8	11,2	24	64,5
9	12,6	25	69,0
10	14,0	26	73,5
11	15,4	27	78,0
12	16,8	28	82,5
13	18,1	29	87,0
14	19,5	30	91,5
15	24,0		

Equações da curva:

(a) De 0 a 14 anos: Taxa = 1,36.(Ano uso)

(b) De 14 a 31 anos: Taxa = 4,76.(Ano uso) – 47,64

AII.7 - Taxa de sucateamento do MCT

Anos de uso	Taxa (%)	Anos de uso	Taxa (%)
0	0,2	21	71,2
1	0,5	22	74,3
2	1,0	23	77,2
3	1,8	24	79,8
4	3,0	25	82,2
5	4,8	26	84,3
6	7,0	27	86,1
7	9,9	28	87,8
8	13,3	29	89,3
9	17,2	30	90,6
10	21,6	31	91,7
11	26,2	32	92,7
12	31,1	33	93,6
13	36,2	34	94,4
14	41,2	35	95,1
15	46,1	36	95,7
16	50,9	37	96,3
17	55,5	38	96,7
18	59,9	39	97,2
19	63,9	40	97,5
20	67,7		

Equação da curva:

$$\text{Taxa} = \exp \{ - \exp [1,798 - 0,137 \cdot (\text{Ano uso})] \}$$

AII.8 - Taxa de sucateamento da curva MCT ajustada (MCT ajust)

Anos de uso	Taxa (%)	Anos de uso	Taxa (%)
0	0,0	21	77,8
1	1,7	22	80,4
2	2,9	23	82,7
3	4,7	24	84,7
4	6,9	25	86,6
5	9,8	26	88,2
6	13,2	27	89,7
7	17,2	28	90,9
8	21,6	29	92,1
9	26,4	30	93,1
10	31,4	31	93,9
11	36,5	32	94,7
12	41,6	33	95,4
13	46,6	34	96,0
14	51,4	35	96,5
15	56,1	36	96,9
16	60,4	37	97,3
17	64,5	38	97,7
18	68,3	39	98,0
19	71,8	40	98,2
20	74,9		

Equação da Curva MCT ajust:

$$\text{Taxa} = \exp \{ - \exp [1,538 - 0,139 \cdot (\text{Ano uso})] \}$$

II.9 – Projeção e Composição da Frota Otimista (unidades)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	205.573	171.043	350.732	329.843	350.212	294.851	266.380	294.248	301.470	295.864	287.132	310.224	321.641	308.918	422.803	412.475	426.713	396.860	385.513	409.450	420.863
1	195.794	202.078	168.136	344.770	324.236	344.258	289.839	261.852	289.245	296.345	290.834	282.251	304.950	316.173	303.666	415.615	405.463	419.459	390.113	378.959	402.489
2	169.023	193.404	199.611	166.083	340.561	320.278	340.056	286.301	258.655	285.714	292.728	287.284	278.805	301.227	312.313	299.959	410.542	400.514	414.338	385.351	374.333
3	191.173	165.890	189.819	195.911	163.004	334.248	314.341	333.752	280.993	253.860	280.418	287.301	281.958	273.637	295.643	306.524	294.399	402.931	393.089	406.658	378.207
4	204.618	186.760	162.060	185.437	191.388	159.241	326.532	307.084	326.047	274.506	248.000	273.945	280.669	275.449	267.320	288.818	299.448	287.602	393.629	384.015	397.270
5	194.974	198.244	180.942	157.012	179.660	185.426	154.281	316.361	297.519	315.891	265.956	240.275	265.411	271.926	266.869	258.993	279.822	290.120	278.644	381.368	372.053
6	155.117	187.625	190.772	174.122	151.094	172.888	178.437	148.466	304.436	286.304	303.984	255.931	231.218	255.407	261.676	256.810	249.231	269.274	279.184	268.141	366.993
7	191.649	147.969	178.978	181.980	166.098	144.131	164.921	170.214	141.624	290.406	273.110	289.975	244.137	220.563	243.637	249.617	244.975	237.745	256.865	266.319	255.784
8	253.435	181.465	140.106	169.467	172.310	157.271	136.472	156.157	161.169	134.098	274.974	258.597	274.566	231.163	208.842	230.690	236.353	231.957	225.112	243.215	252.166
9	210.645	237.919	170.355	131.528	159.092	161.760	147.643	128.116	146.597	151.301	125.888	258.139	242.765	257.756	217.010	196.056	216.566	221.882	217.756	211.329	228.325
10	219.137	196.335	221.756	158.782	122.592	148.284	150.771	137.612	119.413	136.638	141.023	117.336	240.602	226.273	240.245	202.268	182.737	201.854	206.809	202.963	196.973
11	175.180	202.845	181.739	205.269	146.977	113.478	137.260	139.562	127.382	110.535	126.479	130.539	108.613	222.715	209.451	222.384	187.231	169.151	186.847	191.434	187.874
12	152.911	154.758	159.080	163.522	168.088	172.781	177.606	182.565	187.663	192.903	198.289	203.826	209.517	215.367	221.381	227.563	233.917	240.448	247.162	254.064	261.158
13	142.949	144.677	148.716	152.869	157.137	161.525	166.035	170.671	175.437	180.336	185.371	190.547	195.868	201.337	206.959	212.738	218.678	224.784	231.061	237.513	244.145
14	133.726	135.342	139.121	143.006	146.999	151.104	155.323	159.660	164.118	168.701	173.411	178.253	183.231	188.347	193.606	199.012	204.569	210.281	216.153	222.188	228.393
15	125.140	126.652	130.188	133.824	137.560	141.402	145.350	149.408	153.580	157.869	162.277	166.808	171.466	176.254	181.175	186.234	191.434	196.779	202.274	207.922	213.728
16	117.108	118.523	121.832	125.234	128.731	132.326	136.021	139.819	143.723	147.736	151.861	156.102	160.460	164.941	169.546	174.281	179.147	184.149	189.291	194.577	200.010
17	109.563	110.887	113.983	117.166	120.437	123.800	127.257	130.811	134.463	138.218	142.077	146.044	150.122	154.314	158.623	163.052	167.605	172.285	177.096	182.041	187.124
18	102.450	103.687	106.583	109.559	112.618	115.763	118.995	122.318	125.733	129.244	132.853	136.562	140.376	144.295	148.324	152.466	156.723	161.099	165.598	170.222	174.975
19	95.721	96.877	99.582	102.363	105.221	108.159	111.179	114.284	117.475	120.755	124.127	127.593	131.156	134.818	138.582	142.452	146.430	150.518	154.721	159.042	163.482
20	89.337	90.417	92.941	95.536	98.204	100.946	103.765	106.662	109.641	112.702	115.849	119.084	122.409	125.827	129.340	132.952	136.664	140.480	144.403	148.435	152.580
21	83.265	84.271	86.624	89.043	91.529	94.085	96.712	99.413	102.189	105.042	107.975	110.990	114.089	117.275	120.549	123.915	127.376	130.932	134.588	138.346	142.209
22	77.476	78.412	80.601	82.852	85.165	87.543	89.988	92.500	95.083	97.738	100.467	103.273	106.156	109.120	112.167	115.299	118.519	121.828	125.230	128.727	132.321
23	71.943	72.813	74.846	76.936	79.084	81.292	83.562	85.895	88.294	90.759	93.293	95.898	98.576	101.329	104.158	107.066	110.056	113.129	116.288	119.535	122.873
24	66.647	67.452	69.335	71.271	73.262	75.307	77.410	79.572	81.793	84.077	86.425	88.838	91.319	93.869	96.490	99.184	101.953	104.800	107.727	110.735	113.827
25	61.566	62.310	64.050	65.839	67.677	69.567	71.509	73.506	75.558	77.668	79.837	82.066	84.358	86.713	89.134	91.623	94.182	96.811	99.515	102.293	105.150
26	56.685	57.370	58.972	60.619	62.311	64.051	65.840	67.678	69.568	71.510	73.507	75.560	77.670	79.838	82.068	84.359	86.715	89.136	91.625	94.183	96.813
27	51.988	52.616	54.086	55.596	57.148	58.744	60.384	62.070	63.804	65.585	67.416	69.299	71.234	73.223	75.268	77.369	79.530	81.750	84.033	86.379	88.791
28	47.462	48.036	49.377	50.756	52.173	53.630	55.127	56.667	58.249	59.875	61.547	63.266	65.032	66.848	68.715	70.634	72.606	74.633	76.717	78.859	81.061
29	43.095	43.616	44.834	46.085	47.372	48.695	50.055	51.452	52.889	54.366	55.884	57.444	59.048	60.697	62.392	64.134	65.925	67.766	69.658	71.603	73.602
30	38.876	39.346	40.444	41.574	42.734	43.928	45.154	46.415	47.711	49.043	50.413	51.820	53.267	54.755	56.284	57.855	59.471	61.131	62.838	64.593	66.397
31	34.795	35.216	36.199	37.210	38.249	39.317	40.414	41.543	42.703	43.895	45.121	46.381	47.676	49.007	50.376	51.782	53.228	54.714	56.242	57.813	59.427

32	30.844	31.217	32.088	32.984	33.905	34.852	35.825	36.825	37.854	38.911	39.997	41.114	42.262	43.442	44.655	45.902	47.184	48.501	49.856	51.248	52.679
33	27.014	27.341	28.104	28.889	29.696	30.525	31.377	32.253	33.154	34.080	35.031	36.009	37.015	38.048	39.111	40.203	41.325	42.479	43.665	44.885	46.138
34	23.299	23.581	24.239	24.916	25.611	26.327	27.062	27.817	28.594	29.393	30.213	31.057	31.924	32.815	33.732	34.674	35.642	36.637	37.660	38.712	39.793
35	19.691	19.929	20.486	21.058	21.646	22.250	22.872	23.510	24.167	24.841	25.535	26.248	26.981	27.734	28.509	29.305	30.123	30.964	31.829	32.718	33.631
36	16.185	16.381	16.838	17.309	17.792	18.289	18.799	19.324	19.864	20.419	20.989	21.575	22.177	22.796	23.433	24.087	24.760	25.451	26.162	26.892	27.643
37	12.776	12.930	13.291	13.662	14.044	14.436	14.839	15.253	15.679	16.117	16.567	17.030	17.505	17.994	18.496	19.013	19.544	20.089	20.650	21.227	21.820
38	9.457	9.571	9.838	10.113	10.395	10.686	10.984	11.291	11.606	11.930	12.263	12.605	12.957	13.319	13.691	14.073	14.466	14.870	15.286	15.712	16.151
39	6.224	6.299	6.475	6.656	6.842	7.033	7.229	7.431	7.638	7.852	8.071	8.296	8.528	8.766	9.011	9.262	9.521	9.787	10.060	10.341	10.630
40	3.073	3.110	3.197	3.286	3.378	3.472	3.569	3.669	3.771	3.877	3.985	4.096	4.211	4.328	4.449	4.573	4.701	4.832	4.967	5.106	5.249
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4.095726	4.145212	4.260957	4.379935	4.502235	4.627949	4.757174	4.890007	5.026550	5.166905	5.311179	5.459482	5.611925	5.768625	5.929701	6.095275	6.265471	6.440420	6.620255	6.805110	6.995127

AII.10 – Projeção e Composição da Frota Conservadora (unidades)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	205.573	146.181	296.291	272.869	290.611	232.264	179.501	222.112	224.712	213.808	210.573	205.288	221.151	187.163	277.612	266.349	269.936	229.921	198.182	224.974	228.263
1	195.794	202.078	143.696	291.254	268.230	285.670	228.316	176.450	218.336	220.892	210.173	206.993	201.798	217.391	183.981	272.892	261.822	265.347	226.012	194.813	221.149
2	169.023	193.404	199.611	141.942	287.698	264.955	282.183	225.528	174.295	215.671	218.195	207.608	204.466	199.334	214.737	181.735	269.561	258.625	262.107	223.253	192.434
3	191.173	165.890	189.819	195.911	139.310	282.365	260.044	276.952	221.348	171.064	211.673	214.151	203.759	200.676	195.639	210.757	178.367	264.564	253.831	257.249	219.115
4	204.618	186.760	162.060	185.437	191.388	136.094	275.846	254.041	270.559	216.238	167.115	206.786	209.207	199.055	196.043	191.123	205.891	174.249	258.457	247.971	251.310
5	194.974	198.244	180.942	157.012	179.660	185.426	131.855	267.254	246.128	262.131	209.502	161.910	200.345	202.690	192.855	189.937	185.169	199.478	168.821	250.406	240.247
6	155.117	187.625	190.772	174.122	151.094	172.888	178.437	126.885	257.180	236.850	252.250	201.605	155.807	192.793	195.050	185.585	182.777	178.190	191.959	162.458	240.967
7	191.649	147.969	178.978	181.980	166.098	144.131	164.921	170.214	121.038	245.329	225.935	240.626	192.315	148.627	183.909	186.062	177.033	174.354	169.978	183.113	154.971
8	253.435	181.465	140.106	169.467	172.310	157.271	136.472	156.157	161.169	114.606	232.292	213.929	227.839	182.095	140.729	174.136	176.174	167.625	165.089	160.945	173.382
9	210.645	237.919	170.355	131.528	159.092	161.760	147.643	128.116	146.597	151.301	107.589	218.070	200.831	213.889	170.946	132.113	163.475	165.388	157.363	154.981	151.092
10	219.137	196.335	221.756	158.782	122.592	148.284	150.771	137.612	119.413	136.638	141.023	100.280	203.255	187.188	199.359	159.333	123.138	152.369	154.152	146.672	144.453
11	175.180	202.845	181.739	205.269	146.977	113.478	137.260	139.562	127.382	110.535	126.479	130.539	92.825	188.144	173.272	184.538	147.488	113.983	141.041	142.692	135.768
12	152.911	153.065	153.706	154.349	154.996	155.645	154.872	155.393	155.888	156.359	157.567	157.225	157.621	157.993	158.339	159.049	159.477	159.699	159.896	160.069	160.316
13	142.949	143.093	143.692	144.294	144.898	145.505	144.783	145.269	145.732	146.172	147.302	146.983	147.353	147.700	148.024	148.688	149.087	149.295	149.480	149.641	149.872
14	133.726	133.861	134.421	134.984	135.550	136.117	135.442	135.897	136.330	136.741	137.798	137.499	137.846	138.170	138.473	139.095	139.468	139.663	139.835	139.987	140.202
15	125.140	125.266	125.790	126.317	126.846	127.378	126.745	127.171	127.576	127.962	128.950	128.671	128.995	129.299	129.582	130.164	130.513	130.695	130.857	130.998	131.200
16	117.108	117.226	117.717	118.210	118.705	119.202	118.610	119.009	119.388	119.748	120.674	120.412	120.716	121.000	121.265	121.809	122.136	122.307	122.458	122.590	122.779
17	109.563	109.673	110.133	110.594	111.057	111.522	110.969	111.341	111.696	112.033	112.899	112.654	112.938	113.204	113.452	113.961	114.268	114.427	114.568	114.692	114.869
18	102.450	102.553	102.982	103.413	103.846	104.281	103.764	104.112	104.444	104.759	105.569	105.340	105.606	105.854	106.086	106.562	106.849	106.998	107.130	107.246	107.411
19	95.721	95.817	96.218	96.621	97.026	97.432	96.949	97.274	97.584	97.879	98.635	98.421	98.669	98.902	99.119	99.563	99.831	99.970	100.094	100.202	100.356
20	89.337	89.427	89.802	90.178	90.555	90.935	90.483	90.787	91.077	91.351	92.057	91.858	92.089	92.306	92.509	92.924	93.173	93.303	93.418	93.519	93.664
21	83.265	83.349	83.698	84.048	84.400	84.754	84.333	84.616	84.886	85.142	85.801	85.614	85.830	86.032	86.221	86.608	86.840	86.961	87.069	87.163	87.297
22	77.476	77.553	77.878	78.204	78.532	78.861	78.469	78.733	78.984	79.222	79.835	79.661	79.862	80.050	80.226	80.586	80.802	80.915	81.015	81.102	81.228
23	71.943	72.016	72.317	72.620	72.924	73.230	72.866	73.111	73.344	73.566	74.134	73.973	74.160	74.334	74.497	74.832	75.033	75.137	75.230	75.311	75.427
24	66.647	66.714	66.993	67.274	67.555	67.838	67.502	67.728	67.944	68.149	68.676	68.527	68.700	68.862	69.013	69.322	69.508	69.605	69.691	69.767	69.874
25	61.566	61.628	61.886	62.146	62.406	62.667	62.356	62.566	62.765	62.954	63.441	63.303	63.463	63.612	63.752	64.038	64.210	64.299	64.379	64.448	64.548
26	56.685	56.742	56.980	57.218	57.458	57.699	57.412	57.605	57.789	57.963	58.411	58.285	58.431	58.569	58.697	58.961	59.119	59.202	59.275	59.339	59.430
27	51.988	52.041	52.259	52.477	52.697	52.918	52.655	52.832	53.001	53.160	53.571	53.455	53.590	53.716	53.834	54.075	54.221	54.296	54.363	54.422	54.506
28	47.462	47.510	47.709	47.909	48.109	48.311	48.071	48.233	48.386	48.532	48.907	48.801	48.924	49.040	49.147	49.368	49.500	49.569	49.631	49.684	49.761
29	43.095	43.138	43.319	43.500	43.683	43.866	43.648	43.794	43.934	44.067	44.407	44.311	44.423	44.527	44.625	44.825	44.945	45.008	45.064	45.112	45.182
30	38.876	38.915	39.078	39.242	39.406	39.571	39.375	39.507	39.633	39.752	40.060	39.973	40.073	40.168	40.256	40.437	40.545	40.602	40.652	40.696	40.759
31	34.795	34.830	34.976	35.122	35.270	35.417	35.241	35.360	35.473	35.580	35.855	35.777	35.867	35.951	36.030	36.192	36.289	36.340	36.385	36.424	36.480
32	30.844	30.875	31.004	31.134	31.264	31.395	31.240	31.344	31.444	31.539	31.783	31.714	31.794	31.869	31.939	32.082	32.168	32.213	32.253	32.288	32.338
33	27.014	27.041	27.155	27.268	27.383	27.497	27.361	27.453	27.540	27.623	27.837	27.776	27.846	27.912	27.973	28.099	28.174	28.214	28.248	28.279	28.323

34	23.299	23.322	23.420	23.518	23.617	23.716	23.598	23.677	23.753	23.824	24.008	23.956	24.017	24.073	24.126	24.234	24.299	24.333	24.363	24.390	24.427
35	19.691	19.711	19.794	19.877	19.960	20.044	19.944	20.011	20.075	20.135	20.291	20.247	20.298	20.346	20.390	20.482	20.537	20.566	20.591	20.613	20.645
36	16.185	16.202	16.270	16.338	16.406	16.475	16.393	16.448	16.501	16.550	16.678	16.642	16.684	16.723	16.760	16.835	16.880	16.904	16.925	16.943	16.969
37	12.776	12.788	12.842	12.896	12.950	13.004	12.939	12.983	13.024	13.064	13.165	13.136	13.169	13.200	13.229	13.288	13.324	13.343	13.359	13.374	13.394
38	9.457	9.466	9.506	9.546	9.586	9.626	9.578	9.610	9.641	9.670	9.745	9.723	9.748	9.771	9.792	9.836	9.863	9.876	9.889	9.899	9.915
39	6.224	6.230	6.256	6.282	6.309	6.335	6.304	6.325	6.345	6.364	6.413	6.400	6.416	6.431	6.445	6.474	6.491	6.500	6.508	6.515	6.525
40	3.073	3.076	3.089	3.102	3.115	3.128	3.112	3.123	3.133	3.142	3.167	3.160	3.168	3.175	3.182	3.196	3.205	3.209	3.213	3.217	3.222
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4.095726	4.099842	4.117013	4.134255	4.151570	4.168958	4.148264	4.162198	4.175466	4.188070	4.220438	4.211284	4.221893	4.231837	4.241117	4.260145	4.271587	4.277542	4.282833	4.287458	4.294072

AII.11 – Projeção Otimista da frota da CSP (unidades).

Anos	2005				2010				2015			
	Álcool	Gasolina	Flex	Total	Álcool	Gasolina	Flex	Total	Álcool	Gasolina	Flex	Total
0	3.137	90.104	112.332	205.573	0	0	294.851	294.851	0	0	287.132	287.132
1	4.018	143.631	48.145	195.794	0	0	344.258	344.258	0	0	290.834	290.834
2	3.676	159.505	5.842	169.023	0	22.419	297.858	320.278	0	0	292.728	292.728
3	6.439	184.734	0	191.173	0	43.452	290.796	334.248	0	0	280.418	280.418
4	2.354	202.264	0	204.618	0	63.697	95.545	159.241	0	0	248.000	248.000
5	1.639	193.335	0	194.974	2.781	81.588	101.057	185.426	0	0	265.956	265.956
6	1.041	154.076	0	155.117	3.458	127.073	42.358	172.888	0	0	303.984	303.984
7	171	191.478	0	191.649	2.883	136.204	5.045	144.131	0	19.118	253.993	273.110
8	157	253.278	0	253.435	4.718	152.553	0	157.271	0	35.747	239.227	274.974
9	1.650	208.995	0	210.645	1.860	159.900	0	161.760	0	50.355	75.533	125.888
10	7.434	211.703	0	219.137	1.246	147.038	0	148.284	2.115	62.050	76.857	141.023
11	23.367	151.813	0	175.180	760	112.718	0	113.478	2.530	92.962	30.987	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	1.851.268	241.373	1.850.460	0	2.091.833	181.360	2.212.353	6.940	2.400.653
Total	357.210	3.694.057	166.319	4.095.726	259.079	2.897.103	1.471.768	4.627.949	186.005	2.472.585	2.652.589	5.311.179

Anos	2020				2025			
	Álcool	Gasolina	Flex	Total	Álcool	Gasolina	Flex	Total
0	0	0	412.475	412.475	0	0	420.863	420.863
1	0	0	415.615	415.615	0	0	402.489	402.489
2	0	0	299.959	299.959	0	0	374.333	374.333
3	0	0	306.524	306.524	0	0	378.207	378.207
4	0	0	288.818	288.818	0	0	397.270	397.270
5	0	0	258.993	258.993	0	0	372.053	372.053
6	0	0	256.810	256.810	0	0	366.993	366.993
7	0	0	249.617	249.617	0	0	255.784	255.784
8	0	0	230.690	230.690	0	0	252.166	252.166
9	0	0	196.056	196.056	0	0	228.325	228.325
10	0	0	202.268	202.268	0	0	196.973	196.973
11	0	0	222.384	222.384	0	0	187.874	187.874
>12 anos	121.596	1.967.442	666.025	2.755.064	66.597	1.400.797	1.694.404	3.161.798
Total	121.596	1.967.442	4.006.236	6.095.275	66.597	1.400.797	5.527.734	6.995.127

AII.12 – Projeção Conservadora da frota da CSP (unidades).

Anos	2005				2010				2015			
	Álcool	Gasolina	Flex	Total	Álcool	Gasolina	Flex	Total	Álcool	Gasolina	Flex	Total
0	3.137	90.104	112.332	205.573	0	0	232.264	232.264	0	0	210.573	210.573
1	4.018	143.631	48.145	195.794	0	0	285.670	285.670	0	0	210.173	210.173
2	3.676	159.505	5.842	169.023	0	18.547	246.409	264.955	0	0	218.195	218.195
3	6.439	184.734	0	191.173	0	36.707	245.657	282.365	0	0	211.673	211.673
4	2.354	202.264	0	204.618	0	54.438	81.657	136.094	0	0	167.115	167.115
5	1.639	193.335	0	194.974	2.781	81.588	101.057	185.426	0	0	209.502	209.502
6	1.041	154.076	0	155.117	3.458	127.073	42.358	172.888	0	0	252.250	252.250
7	171	191.478	0	191.649	2.883	136.204	5.045	144.131	0	15.815	210.120	225.935
8	157	253.278	0	253.435	4.718	152.553	0	157.271	0	30.198	202.094	232.292
9	1.650	208.995	0	210.645	1.860	159.900	0	161.760	0	43.036	64.553	107.589
10	7.434	211.703	0	219.137	1.246	147.038	0	148.284	2.115	62.050	76.857	141.023
11	23.367	151.813	0	175.180	760	112.718	0	113.478	2.530	92.962	30.987	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	1.851.268	217.434	1.666.935	0	1.884.369	144.114	1.758.009	5.515	1.907.638
Total	357.210	3.694.057	166.319	4.095.726	235.140	2.693.701	1.240.117	4.168.958	148.759	2.002.070	2.069.609	4.220.438

Anos	2020				2025			
	Álcool	Gasolina	Flex	Total	Álcool	Gasolina	Flex	Total
0	0	0	266.349	266.349	0	0	228.263	228.263
1	0	0	272.892	272.892	0	0	221.149	221.149
2	0	0	181.735	181.735	0	0	192.434	192.434
3	0	0	210.757	210.757	0	0	219.115	219.115
4	0	0	191.123	191.123	0	0	251.310	251.310
5	0	0	189.937	189.937	0	0	240.247	240.247
6	0	0	185.585	185.585	0	0	240.967	240.967
7	0	0	186.062	186.062	0	0	154.971	154.971
8	0	0	174.136	174.136	0	0	173.382	173.382
9	0	0	132.113	132.113	0	0	151.092	151.092
10	0	0	159.333	159.333	0	0	144.453	144.453
11	0	0	184.538	184.538	0	0	135.768	135.768
>12 anos	84.987	1.375.096	465.502	1.925.586	40.881	859.902	1.040.137	1.940.920
Total	84.987	1.375.096	2.800.062	4.260.145	40.881	859.902	3.393.288	4.294.072

AII.13 - Emissões de CO₂ (10⁶t) – Frota Otimista

Ano	Álcool		Gasolina		Flex		
	Frota	Emissão	Frota	Emissão	Frota	Gasolina	Álcool
2005	357.210	594,9	3.694.057	7.662,6	166.319	341,4	255,4
2010	259.079	420,6	2.897.103	5.260,1	1.471.768	2.448,1	1.836,6
2015	186.005	293,3	2.472.585	3.962,8	2.652.589	3.869,0	2.903,0
2020	121.596	191,8	1.967.442	3.066,2	4.006.236	5.487,0	4.113,3
2025	66.597	105,0	1.400.797	2.183,1	5.527.734	7.221,2	5.411,3

AII.14 - Emissões de CO₂ (10⁶t) – Frota Conservadora

Ano	Álcool		Gasolina		Flex		
	Frota	Emissão	Frota	Emissão	Frota	Gasolina	Álcool
2005	357.210	594,9	3.694.057	7.662,6	166.319	341,4	255,4
2010	235.140	382,8	2.693.701	4.925,0	1.240.117	2.048,4	1.536,6
2015	148.759	234,6	2.002.070	3.216,0	2.069.609	2.984,6	2.239,4
2020	84.987	134,0	1.375.096	2.143,1	2.800.062	3.782,6	2.835,3
2025	40.881	64,5	859.902	1.340,1	3.393.288	4.366,7	3.272,0

AII.15 – Emissões totais de CO₂ referente ao uso de gasolina (10⁹t) – Frota Otimista e Conservadora

	Otimista	Conservadora
2005	8,0	8,0
2010	7,7	7,0
2015	7,8	6,2
2020	8,6	5,9
2025	9,4	5,7

Anexo III

Anexo III.1 – Introdução de veículos com CaCs na frota da CSP – Projeção otimista – Cenário B

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	38.523	32.434	29.302	32.367	33.162	32.545	31.585	34.125	35.380	49.427	67.648	65.996	68.274	63.498	61.682	65.512	67.338
1		37.868	31.882	28.804	31.817	32.598	31.992	31.048	33.544	34.779	48.587	66.498	64.874	67.113	62.418	60.633	64.398
2			37.406	31.493	28.452	31.429	32.200	31.601	30.669	33.135	34.354	47.993	65.687	64.082	66.294	61.656	59.893
3				36.713	30.909	27.925	30.846	31.603	31.015	30.100	32.521	33.718	47.104	64.469	62.894	65.065	60.513
4					35.865	30.196	27.280	30.134	30.874	30.299	29.405	31.770	32.939	46.016	62.981	61.442	63.563
5						34.748	29.255	26.430	29.195	29.912	29.356	28.489	30.780	31.913	44.583	61.019	59.528
6							33.438	28.152	25.434	28.095	28.784	28.249	27.415	29.620	30.710	42.902	58.719
7								31.897	26.855	24.262	26.800	27.458	26.947	26.152	28.255	29.295	40.925
8									30.202	25.428	22.973	25.376	25.999	25.515	24.762	26.754	27.738
9										28.353	23.871	21.566	23.822	24.407	23.953	23.246	25.116
10											26.427	22.249	20.101	22.204	22.749	22.326	21.667
11												24.462	20.595	18.607	20.553	21.058	20.666
12													25.731	26.449	27.188	27.947	28.727
13														24.726	25.417	26.126	26.856
14															23.777	24.441	25.123
15																22.871	23.510
16																	22.001
	38.523	70.302	98.590	129.377	160.205	189.440	216.596	244.990	273.169	313.790	370.726	423.826	480.269	534.772	588.217	642.295	696.284

Anexo III.2 – Introdução de veículos com CaCs na frota da CSP – Projeção otimista – Cenário C

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	7.004	5.897	5.328	5.885	6.029	5.917	5.743	6.204	6.433	9.268	12.684	12.374	12.801	11.906	11.565	12.283	12.626
1		6.885	5.797	5.237	5.785	5.927	5.817	5.645	6.099	9.485	9.110	12.468	12.164	12.584	11.703	11.369	12.075
2			6.801	5.726	5.173	5.714	5.855	5.746	5.576	9.037	9.369	8.999	12.316	12.015	12.430	11.561	11.230
3				6.675	5.620	5.077	5.608	5.746	5.639	8.209	8.869	9.196	8.832	12.088	11.793	12.200	11.346
4					6.521	5.490	4.960	5.479	5.613	8.263	8.020	8.665	8.983	8.628	11.809	11.520	11.918
5						6.318	5.319	4.805	5.308	8.158	8.006	7.770	8.395	8.704	8.359	11.441	11.162
6							6.080	5.119	4.624	7.662	7.850	7.704	7.477	8.078	8.376	8.044	11.010
7								5.800	4.883	6.617	7.309	7.489	7.349	7.132	7.706	7.990	7.674
8									5.491	6.935	6.265	6.921	7.091	6.959	6.753	7.296	7.565
9										7.733	6.510	5.882	6.497	6.656	6.533	6.340	6.850
10											7.207	6.068	5.482	6.056	6.204	6.089	5.909
11												6.672	5.617	5.075	5.605	5.743	5.636
12													7.018	7.213	7.415	7.622	7.835
13														6.744	6.932	7.125	7.324
14															6.485	6.666	6.852
15																6.238	6.412
16																	6.000
	7.004	12.782	17.925	23.523	29.128	34.444	39.381	44.544	49.667	81.367	91.201	100.206	110.022	119.837	129.668	139.527	149.423

Anexo III.3 – Introdução de veículos com CaCs na frota da CSP – Projeção otimista – Cenário D

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	350.212	294.851	266.380	294.248	301.470	295.864	287.132	310.224	321.641	308.918	422.803	412.475	426.713	396.860	385.513	409.450	420.863
1		344.258	289.839	261.852	289.245	296.345	290.834	282.251	304.950	316.173	303.666	415.615	405.463	419.459	390.113	378.959	402.489
2			340.056	286.301	258.655	285.714	292.728	287.284	278.805	301.227	312.313	299.959	410.542	400.514	414.338	385.351	374.333
3				333.752	280.993	253.860	280.418	287.301	281.958	273.637	295.643	306.524	294.399	402.931	393.089	406.658	378.207
4					326.047	274.506	248.000	273.945	280.669	275.449	267.320	288.818	299.448	287.602	393.629	384.015	397.270
5						315.891	265.956	240.275	265.411	271.926	266.869	258.993	279.822	290.120	278.644	381.368	372.053
6							303.984	255.931	231.218	255.407	261.676	256.810	249.231	269.274	279.184	268.141	366.993
7								289.975	244.137	220.563	243.637	249.617	244.975	237.745	256.865	266.319	255.784
8									274.566	231.163	208.842	230.690	236.353	231.957	225.112	243.215	252.166
9										257.756	217.010	196.056	216.566	221.882	217.756	211.329	228.325
10											240.245	202.268	182.737	201.854	206.809	202.963	196.973
11												222.384	187.231	169.151	186.847	191.434	187.874
12													233.917	240.448	247.162	254.064	261.158
13														224.784	231.061	237.513	244.145
14															216.153	222.188	228.393
15																207.922	213.728
16																	200.010
	350.212	639.109	896.274	1.176.151	1.456.411	1.722.181	1.969.052	2.227.185	2.483.355	2.712.219	3.040.026	3.340.211	3.667.395	3.994.583	4.322.275	4.650.887	4.980.763

Anexo III.4 – Introdução de veículos com CaCs na frota da CSP – Projeção conservadora – Cenário B

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	31.967	25.549	19.745	24.432	24.718	23.519	23.163	22.582	24.327	29.946	44.418	42.616	43.190	36.787	31.709	35.996	36.522
1		31.424	25.115	19.409	24.017	24.298	23.119	22.769	22.198	23.913	29.437	43.663	41.891	42.455	36.162	31.170	35.384
2			31.040	24.808	19.173	23.724	24.001	22.837	22.491	21.927	23.621	29.078	43.130	41.380	41.937	35.721	30.789
3				30.465	24.348	18.817	23.284	23.557	22.413	22.074	21.520	23.183	28.539	42.330	40.613	41.160	35.058
4					29.761	23.786	18.383	22.747	23.013	21.896	21.565	21.023	22.648	27.880	41.353	39.675	40.210
5						28.834	23.045	17.810	22.038	22.296	21.214	20.893	20.369	21.943	27.011	40.065	38.440
6							27.748	22.177	17.139	21.207	21.456	20.414	20.105	19.601	21.115	25.993	38.555
7								26.469	21.155	16.349	20.230	20.467	19.474	19.179	18.698	20.142	24.795
8									25.062	20.030	15.480	19.155	19.379	18.439	18.160	17.704	19.072
9										23.528	18.804	14.532	17.982	18.193	17.310	17.048	16.620
10											21.929	17.527	13.545	16.761	16.957	16.134	15.890
11												20.299	16.224	12.538	15.515	15.696	14.934
12													17.542	17.567	17.589	17.608	17.635
13														16.422	16.443	16.461	16.486
14															15.382	15.399	15.422
15																14.410	14.432
16																	13.506
	31.967	56.973	75.900	99.115	122.018	142.978	162.743	180.946	199.835	223.167	259.674	292.850	324.018	351.475	375.953	400.381	423.750

Anexo III.5 – Introdução de veículos com CaCs na frota da CSP – Projeção conservadora – Cenário C

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	5.812	4.645	3.590	4.442	4.494	4.276	4.211	4.106	4.423	5.615	8.328	7.990	8.098	6.898	5.945	6.749	6.848
1		5.713	4.566	3.529	4.367	4.418	4.203	4.140	4.036	6.522	5.519	8.187	7.855	7.960	6.780	5.844	6.634
2			5.644	4.511	3.486	4.313	4.364	4.152	4.089	5.980	6.442	5.452	8.087	7.759	7.863	6.698	5.773
3				5.539	4.427	3.421	4.233	4.283	4.075	6.020	5.869	6.323	5.351	7.937	7.615	7.717	6.573
4					5.411	4.325	3.342	4.136	4.184	5.972	5.881	5.734	6.177	5.227	7.754	7.439	7.539
5						5.243	4.190	3.238	4.007	6.081	5.786	5.698	5.555	5.984	5.065	7.512	7.207
6							5.045	4.032	3.116	5.784	5.852	5.568	5.483	5.346	5.759	4.874	7.229
7								4.813	3.846	4.459	5.517	5.582	5.311	5.231	5.099	5.493	4.649
8									4.557	5.463	4.222	5.224	5.285	5.029	4.953	4.828	5.201
9										6.417	5.128	3.963	4.904	4.962	4.721	4.649	4.533
10											5.981	4.780	3.694	4.571	4.625	4.400	4.334
11												5.536	4.425	3.419	4.231	4.281	4.073
12													4.784	4.791	4.797	4.802	4.809
13														4.479	4.484	4.489	4.496
14															4.195	4.200	4.206
15																3.930	3.936
16																	3.683
	5.812	10.359	13.800	18.021	22.185	25.996	29.590	32.899	36.334	58.311	64.526	70.037	75.009	79.593	83.886	87.907	91.726

Anexo III.6 – Introdução de veículos com CaCs na frota da CSP – Projeção conservadora – Cenário D

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0	290.611	232.264	179.501	222.112	224.712	213.808	210.573	205.288	221.151	187.163	277.612	266.349	269.936	229.921	198.182	224.974	228.263
1		285.670	228.316	176.450	218.336	220.892	210.173	206.993	201.798	217.391	183.981	272.892	261.822	265.347	226.012	194.813	221.149
2			282.183	225.528	174.295	215.671	218.195	207.608	204.466	199.334	214.737	181.735	269.561	258.625	262.107	223.253	192.434
3				276.952	221.348	171.064	211.673	214.151	203.759	200.676	195.639	210.757	178.367	264.564	253.831	257.249	219.115
4					270.559	216.238	167.115	206.786	209.207	199.055	196.043	191.123	205.891	174.249	258.457	247.971	251.310
5						262.131	209.502	161.910	200.345	202.690	192.855	189.937	185.169	199.478	168.821	250.406	240.247
6							252.250	201.605	155.807	192.793	195.050	185.585	182.777	178.190	191.959	162.458	240.967
7								240.626	192.315	148.627	183.909	186.062	177.033	174.354	169.978	183.113	154.971
8									227.839	182.095	140.729	174.136	176.174	167.625	165.089	160.945	173.382
9										213.889	170.946	132.113	163.475	165.388	157.363	154.981	151.092
10											199.359	159.333	123.138	152.369	154.152	146.672	144.453
11												184.538	147.488	113.983	141.041	142.692	135.768
12													159.477	159.699	159.896	160.069	160.316
13														149.295	149.480	149.641	149.872
14															139.835	139.987	140.202
15																130.998	131.200
16																	122.779
	290.611	517.934	690.000	901.042	1.109.250	1.299.804	1.479.482	1.644.966	1.816.686	1.943.714	2.150.860	2.334.560	2.500.306	2.653.087	2.796.204	2.930.222	3.057.521

AIII.7 – Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário A

Anos	2005					2010					2015				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	294.851	0	294.851	0	0	287.132	0	287.132
1	4.018	143.631	48.145	0	195.794	0	0	344.258	0	344.258	0	0	290.834	0	290.834
2	3.676	159.505	5.842	0	169.023	0	22.419	297.858	0	320.278	0	0	292.728	0	292.728
3	6.439	184.734	0	0	191.173	0	43.452	290.796	0	334.248	0	0	280.418	0	280.418
4	2.354	202.264	0	0	204.618	0	63.697	95.545	0	159.241	0	0	248.000	0	248.000
5	1.639	193.335	0	0	194.974	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	265.956	0	265.956
6	1.041	154.076	0	0	155.117	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	303.984	0	303.984
7	171	191.478	0	0	191.649	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	19.118	253.993	0	273.110
8	157	253.278	0	0	253.435	4.718	152.553	0	0	157.271	0	35.747	239.227	0	274.974
9	1.650	208.995	0	0	210.645	1.860	159.900	0	0	161.760	0	50.355	75.533	0	125.888
10	7.434	211.703	0	0	219.137	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.180	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.851.268	241.373	1.850.460	0	0	2.091.833	181.360	2.212.353	6.940	0	2.400.653
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	259.079	2.897.103	1.471.768	0	4.627.949	186.005	2.472.585	2.652.589	0	5.311.179

Anos	2020					2025				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	412.475	0	412.475	0	0	420.863	0	420.863
1	0	0	415.615	0	415.615	0	0	402.489	0	402.489
2	0	0	299.959	0	299.959	0	0	374.333	0	374.333
3	0	0	306.524	0	306.524	0	0	378.207	0	378.207
4	0	0	288.818	0	288.818	0	0	397.270	0	397.270
5	0	0	258.993	0	258.993	0	0	372.053	0	372.053
6	0	0	256.810	0	256.810	0	0	366.993	0	366.993
7	0	0	249.617	0	249.617	0	0	255.784	0	255.784
8	0	0	230.690	0	230.690	0	0	252.166	0	252.166
9	0	0	196.056	0	196.056	0	0	228.325	0	228.325
10	0	0	202.268	0	202.268	0	0	196.973	0	196.973
11	0	0	222.384	0	222.384	0	0	187.874	0	187.874
>12 anos	121.596	1.967.442	666.025	0	2.755.064	66.597	1.400.797	1.694.404	0	3.161.798
Total	121.596	1.967.442	4.006.236	0	6.095.275	66.597	1.400.797	5.527.734	0	6.995.127

AIII.8 – Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário B

Anos	2005					2010					2015				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	262.418	32.434	294.851	0	0	255.548	31.585	287.132
1	4.018	143.631	48.145	0	195.794	0	0	306.390	37.868	344.258	0	0	258.843	31.992	290.834
2	3.676	159.505	5.842	0	169.023	0	22.419	297.858	0	320.278	0	0	260.528	32.200	292.728
3	6.439	184.734	0	0	191.173	0	43.452	290.796	0	334.248	0	0	249.572	30.846	280.418
4	2.354	202.264	0	0	204.618	0	63.697	95.545	0	159.241	0	0	220.720	27.280	248.000
5	1.639	193.335	0	0	194.974	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	236.701	29.255	265.956
6	1.041	154.076	0	0	155.117	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	270.546	33.438	303.984
7	171	191.478	0	0	191.649	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	19.118	253.993	0	273.110
8	157	253.278	0	0	253.435	4.718	152.553	0	0	157.271	0	35.747	239.227	0	274.974
9	1.650	208.995	0	0	210.645	1.860	159.900	0	0	161.760	0	50.355	75.533	0	125.888
10	7.434	211.703	0	0	219.137	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.180	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.851.268	241.373	1.850.460	0	0	2.091.833	181.360	2.212.353	6.940	0	2.400.653
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	259.079	2.897.103	1.401.466	70.302	4.627.949	186.005	2.472.585	2.435.994	216.596	5.311.179

Anos	2020					2025				
	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	346.479	65.996	412.475	0	0	353.525	67.338	420.863
1	0	0	349.117	66.498	415.615	0	0	338.091	64.398	402.489
2	0	0	251.966	47.993	299.959	0	0	314.440	59.893	374.333
3	0	0	272.806	33.718	306.524	0	0	317.694	60.513	378.207
4	0	0	257.048	31.770	288.818	0	0	333.707	63.563	397.270
5	0	0	230.504	28.489	258.993	0	0	312.524	59.528	372.053
6	0	0	228.561	28.249	256.810	0	0	308.274	58.719	366.993
7	0	0	222.160	27.458	249.617	0	0	214.858	40.925	255.784
8	0	0	205.314	25.376	230.690	0	0	224.428	27.738	252.166
9	0	0	174.490	21.566	196.056	0	0	203.209	25.116	228.325
10	0	0	180.018	22.249	202.268	0	0	175.306	21.667	196.973
11	0	0	197.922	24.462	222.384	0	0	167.208	20.666	187.874
>12 anos	121.596	1.967.442	666.025	0	2.755.064	66.597	1.400.797	1.568.186	126.218	3.161.798
Total	121.596	1.967.442	3.582.410	423.826	6.095.275	66.597	1.400.797	4.831.450	696.284	6.995.127

AIII.9 – Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário C

Anos	2005					2010					2015				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	288.954	5.897	294.851	0	0	281.390	5.743	287.132
1	4.018	143.631	48.145	0	195.794	0	0	337.373	6.885	344.258	0	0	285.018	5.817	290.834
2	3.676	159.505	5.842	0	169.023	0	22.419	297.858	0	320.278	0	0	286.873	5.855	292.728
3	6.439	184.734	0	0	191.173	0	43.452	290.796	0	334.248	0	0	274.810	5.608	280.418
4	2.354	202.264	0	0	204.618	0	63.697	95.545	0	159.241	0	0	243.040	4.960	248.000
5	1.639	193.335	0	0	194.974	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	260.637	5.319	265.956
6	1.041	154.076	0	0	155.117	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	297.904	6.080	303.984
7	171	191.478	0	0	191.649	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	19.118	253.993	0	273.110
8	157	253.278	0	0	253.435	4.718	152.553	0	0	157.271	0	35.747	239.227	0	274.974
9	1.650	208.995	0	0	210.645	1.860	159.900	0	0	161.760	0	50.355	75.533	0	125.888
10	7.434	211.703	0	0	219.137	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.180	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.851.268	241.373	1.850.460	0	0	2.091.833	181.360	2.212.353	6.940	0	2.400.653
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	259.079	2.897.103	1.458.986	12.782	4.627.949	186.005	2.472.585	2.613.208	39.381	5.311.179

Anos	2020					2025				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	400.101	12.374	412.475	0	0	408.238	12.626	420.863
1	0	0	403.147	12.468	415.615	0	0	390.415	12.075	402.489
2	0	0	290.960	8.999	299.959	0	0	363.103	11.230	374.333
3	0	0	297.328	9.196	306.524	0	0	366.861	11.346	378.207
4	0	0	280.154	8.665	288.818	0	0	385.352	11.918	397.270
5	0	0	251.223	7.770	258.993	0	0	360.891	11.162	372.053
6	0	0	249.106	7.704	256.810	0	0	355.983	11.010	366.993
7	0	0	242.129	7.489	249.617	0	0	248.110	7.674	255.784
8	0	0	223.769	6.921	230.690	0	0	244.601	7.565	252.166
9	0	0	190.174	5.882	196.056	0	0	221.475	6.850	228.325
10	0	0	196.200	6.068	202.268	0	0	191.064	5.909	196.973
11	0	0	215.713	6.672	222.384	0	0	182.237	5.636	187.874
>12 anos	121.596	1.967.442	666.025	0	2.755.064	66.597	1.400.797	1.659.981	34.423	3.161.798
Total	121.596	1.967.442	3.906.030	100.206	6.095.275	66.597	1.400.797	5.378.311	149.423	6.995.127

AIII.10 – Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário D

Anos	2005					2010					2015				
	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	0	294.851	294.851	0	0	0	287.132	287.132
1	4.018	143.631	48.145	0	195.794	0	0	0	344.258	344.258	0	0	0	290.834	290.834
2	3.676	159.505	5.842	0	169.023	0	22.419	297.858	0	320.278	0	0	0	292.728	292.728
3	6.439	184.734	0	0	191.173	0	43.452	290.796	0	334.248	0	0	0	280.418	280.418
4	2.354	202.264	0	0	204.618	0	63.697	95.545	0	159.241	0	0	0	248.000	248.000
5	1.639	193.335	0	0	194.974	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	0	265.956	265.956
6	1.041	154.076	0	0	155.117	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	0	303.984	303.984
7	171	191.478	0	0	191.649	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	19.118	253.993	0	273.110
8	157	253.278	0	0	253.435	4.718	152.553	0	0	157.271	0	35.747	239.227	0	274.974
9	1.650	208.995	0	0	210.645	1.860	159.900	0	0	161.760	0	50.355	75.533	0	125.888
10	7.434	211.703	0	0	219.137	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.180	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.851.268	241.373	1.850.460	0	0	2.091.833	181.360	2.212.353	6.940	0	2.400.653
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	259.079	2.897.103	832.659	639.109	4.627.949	186.005	2.472.585	683.538	1.969.052	5.311.179

Anos	2020					2025				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	0	412.475	412.475	0	0	0	420.863	420.863
1	0	0	0	415.615	415.615	0	0	0	402.489	402.489
2	0	0	0	299.959	299.959	0	0	0	374.333	374.333
3	0	0	0	306.524	306.524	0	0	0	378.207	378.207
4	0	0	0	288.818	288.818	0	0	0	397.270	397.270
5	0	0	0	258.993	258.993	0	0	0	372.053	372.053
6	0	0	0	256.810	256.810	0	0	0	366.993	366.993
7	0	0	0	249.617	249.617	0	0	0	255.784	255.784
8	0	0	0	230.690	230.690	0	0	0	252.166	252.166
9	0	0	0	196.056	196.056	0	0	0	228.325	228.325
10	0	0	0	202.268	202.268	0	0	0	196.973	196.973
11	0	0	0	222.384	222.384	0	0	0	187.874	187.874
>12 anos	121.596	1.967.442	666.025	0	2.755.064	66.597	1.400.797	546.971	1.147.433	3.161.798
Total	121.596	1.967.442	666.025	3.340.211	6.095.275	66.597	1.400.797	546.971	4.980.763	6.995.127

AIII.11 - Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário A

Anos	2005					2010					2015				
	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	232.264	0	232.264	0	0	210.573	0	210.573
1	4.018	143.631	48.145	0	195.794	0	0	285.670	0	285.670	0	0	210.173	0	210.173
2	3.676	159.505	5.842	0	169.023	0	18.547	246.409	0	264.955	0	0	218.195	0	218.195
3	6.439	184.734	0	0	191.173	0	36.707	245.657	0	282.365	0	0	211.673	0	211.673
4	2.354	202.264	0	0	204.618	0	54.438	81.657	0	136.094	0	0	167.115	0	167.115
5	1.639	193.335	0	0	194.974	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	209.502	0	209.502
6	1.041	154.076	0	0	155.117	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	252.250	0	252.250
7	171	191.478	0	0	191.649	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	15.815	210.120	0	225.935
8	157	253.278	0	0	253.435	4.718	152.553	0	0	157.271	0	30.198	202.094	0	232.292
9	1.650	208.995	0	0	210.645	1.860	159.900	0	0	161.760	0	43.036	64.553	0	107.589
10	7.434	211.703	0	0	219.137	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
>12 anos	325.494	1.700.954	0	0	2.026.448	218.194	1.779.653	0	0	1.997.847	146.644	1.850.971	36.502	0	2.034.118
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	235.140	2.693.701	1.240.117	0	4.168.958	148.759	2.002.070	2.069.609	0	4.220.438

Anos	2020				2025				
	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	266.349	0	266.349	0	0	228.263	0	228.263
0	0	272.892	0	272.892	0	0	221.149	0	221.149
0	0	181.735	0	181.735	0	0	192.434	0	192.434
0	0	210.757	0	210.757	0	0	219.115	0	219.115
0	0	191.123	0	191.123	0	0	251.310	0	251.310
0	0	189.937	0	189.937	0	0	240.247	0	240.247
0	0	185.585	0	185.585	0	0	240.967	0	240.967
0	0	186.062	0	186.062	0	0	154.971	0	154.971
0	0	174.136	0	174.136	0	0	173.382	0	173.382
0	0	132.113	0	132.113	0	0	151.092	0	151.092
0	0	159.333	0	159.333	0	0	144.453	0	144.453
84.987	1.375.096	650.040	0	2.110.123	40.881	859.902	1.175.905	0	2.076.689
84.987	1.375.096	2.800.062	0	4.260.145	40.881	859.902	3.393.288	0	4.294.072

AIII.12 - Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário B

Anos	2005					2010					2015				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	206.715	25.549	232.264	0	0	187.410	23.163	210.573
1	4.018	143.631	48.145	0	195.794	0	0	254.247	31.424	285.670	0	0	187.054	23.119	210.173
2	3.676	159.505	5.842	0	169.023	0	18.547	246.409	0	264.955	0	0	194.194	24.001	218.195
3	6.439	184.734	0	0	191.173	0	36.707	245.657	0	282.365	0	0	188.389	23.284	211.673
4	2.354	202.264	0	0	204.618	0	54.438	81.657	0	136.094	0	0	148.733	18.383	167.115
5	1.639	193.335	0	0	194.974	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	186.457	23.045	209.502
6	1.041	154.076	0	0	155.117	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	224.503	27.748	252.250
7	171	191.478	0	0	191.649	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	15.815	210.120	0	225.935
8	157	253.278	0	0	253.435	4.718	152.553	0	0	157.271	0	30.198	202.094	0	232.292
9	1.650	208.995	0	0	210.645	1.860	159.900	0	0	161.760	0	43.036	64.553	0	107.589
10	7.434	211.703	0	0	219.137	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.180	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.851.268	217.434	1.666.935	0	0	1.884.369	144.114	1.758.009	5.515	0	1.907.638
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	235.140	2.693.701	1.183.144	56.973	4.168.958	148.759	2.002.070	1.906.866	162.743	4.220.438

Anos	2020					2025				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	223.734	42.616	266.349	0	0	191.741	36.522	228.263
1	0	0	229.230	43.663	272.892	0	0	185.765	35.384	221.149
2	0	0	152.658	29.078	181.735	0	0	161.645	30.789	192.434
3	0	0	187.573	23.183	210.757	0	0	184.056	35.058	219.115
4	0	0	170.099	21.023	191.123	0	0	211.100	40.210	251.310
5	0	0	169.044	20.893	189.937	0	0	201.808	38.440	240.247
6	0	0	165.171	20.414	185.585	0	0	202.412	38.555	240.967
7	0	0	165.595	20.467	186.062	0	0	130.176	24.795	154.971
8	0	0	154.981	19.155	174.136	0	0	154.310	19.072	173.382
9	0	0	117.580	14.532	132.113	0	0	134.472	16.620	151.092
10	0	0	141.807	17.527	159.333	0	0	128.563	15.890	144.453
11	0	0	164.239	20.299	184.538	0	0	120.834	14.934	135.768
>12 anos	84.987	1.375.096	465.502	0	1.925.586	40.881	859.902	962.656	77.481	1.940.920
Total	84.987	1.375.096	2.507.212	292.850	4.260.145	40.881	859.902	2.969.538	423.750	4.294.072

AIII.13 - Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção – Cenário C

Anos	2005					2010					2015				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	227.619	4.645	232.264	0	0	206.361	4.211	210.573
1	4.018	143.631	48.145	0	195.795	0	0	279.957	5.713	285.670	0	0	205.970	4.203	210.173
2	3.676	159.505	5.842	0	169.025	0	18.547	246.409	0	264.955	0	0	213.831	4.364	218.195
3	6.439	184.734		0	191.176	0	36.707	245.657	0	282.365	0	0	207.439	4.233	211.673
4	2.354	202.264	0	0	204.622	0	54.438	81.657	0	136.094	0	0	163.773	3.342	167.115
5	1.639	193.335	0	0	194.979	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	205.312	4.190	209.502
6	1.041	154.076	0	0	155.123	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	247.205	5.045	252.250
7	171	191.478	0	0	191.656	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	15.815	210.120	0	225.935
8	157	253.278	0	0	253.443	4.718	152.553	0	0	157.271	0	30.198	202.094	0	232.292
9	1.650	208.995	0	0	210.654	1.860	159.900	0	0	161.760	0	43.036	64.553	0	107.589
10	7.434	211.703	0	0	219.147	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.191	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.851.268	217.434	1.666.935	0	0	1.884.369	144.114	1.758.009	5.515	0	1.907.638
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	235.140	2.693.701	1.229.758	10.359	4.168.958	148.759	2.002.070	2.040.019	29.590	4.220.438

Anos	2020					2025				
	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Alcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	258.359	7.990	266.349	0	0	221.415	6.848	228.263
1	0	0	264.706	8.187	272.892	0	0	214.515	6.634	221.149
2	0	0	176.283	5.452	181.735	0	0	186.661	5.773	192.434
3	0	0	204.434	6.323	210.757	0	0	212.541	6.573	219.115
4	0	0	185.389	5.734	191.123	0	0	243.771	7.539	251.310
5	0	0	184.238	5.698	189.937	0	0	233.040	7.207	240.247
6	0	0	180.018	5.568	185.585	0	0	233.738	7.229	240.967
7	0	0	180.480	5.582	186.062	0	0	150.322	4.649	154.971
8	0	0	168.912	5.224	174.136	0	0	168.181	5.201	173.382
9	0	0	128.149	3.963	132.113	0	0	146.559	4.533	151.092
10	0	0	154.553	4.780	159.333	0	0	140.119	4.334	144.453
11	0	0	179.002	5.536	184.538	0	0	131.695	4.073	135.768
>12 anos	84.987	1.375.096	465.502	0	1.925.586	40.881	859.902	1.019.006	21.131	1.940.920
Total	84.987	1.375.096	2.730.025	70.037	4.260.145	40.881	859.902	3.301.563	91.726	4.294.072

AIII.14 - Composição da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário D

Anos	2005					2010					2015				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	3.137	90.104	112.332	0	205.573	0	0	0	232.264	232.264	0	0	0	210.573	210.573
1	4.018	143.631	48.145	0	195.795	0	0	0	285.670	285.670	0	0	0	210.173	210.173
2	3.676	159.505	5.842	0	169.025	0	18.547	246.409	0	264.955	0	0	0	218.195	218.195
3	6.439	184.734	0	0	191.176	0	36.707	245.657	0	282.365	0	0	0	211.673	211.673
4	2.354	202.264	0	0	204.622	0	54.438	81.657	0	136.094	0	0	0	167.115	167.115
5	1.639	193.335	0	0	194.979	2.781	81.588	101.057	0	185.426	0	0	0	209.502	209.502
6	1.041	154.076	0	0	155.123	3.458	127.073	42.358	0	172.888	0	0	0	252.250	252.250
7	171	191.478	0	0	191.656	2.883	136.204	5.045	0	144.131	0	15.815	210.120	0	225.935
8	157	253.278	0	0	253.443	4.718	152.553	0	0	157.271	0	30.198	202.094	0	232.292
9	1.650	208.995	0	0	210.654	1.860	159.900	0	0	161.760	0	43.036	64.553	0	107.589
10	7.434	211.703	0	0	219.147	1.246	147.038	0	0	148.284	2.115	62.050	76.857	0	141.023
11	23.367	151.813	0	0	175.191	760	112.718	0	0	113.478	2.530	92.962	30.987	0	126.479
>12 anos	302.127	1.549.141	0	0	1.852.022	217.434	1.666.935	0	0	1.884.369	144.114	1.758.009	5.515	0	1.907.638
Total	357.210	3.694.057	166.319	0	4.095726	235.140	2.693.701	722.182	517.934	4.168.958	148.759	2.002.070	590.127	1.479.482	4.220.438

Anos	2020					2025				
	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total	Álcool	Gasolina	Flex	CaCs	Total
0	0	0	0	266.349	266.349	0	0	0	228.263	228.263
1	0	0	0	272.892	272.892	0	0	0	221.149	221.149
2	0	0	0	181.735	181.735	0	0	0	192.434	192.434
3	0	0	0	210.757	210.757	0	0	0	219.115	219.115
4	0	0	0	191.123	191.123	0	0	0	251.310	251.310
5	0	0	0	189.937	189.937	0	0	0	240.247	240.247
6	0	0	0	185.585	185.585	0	0	0	240.967	240.967
7	0	0	0	186.062	186.062	0	0	0	154.971	154.971
8	0	0	0	174.136	174.136	0	0	0	173.382	173.382
9	0	0	0	132.113	132.113	0	0	0	151.092	151.092
10	0	0	0	159.333	159.333	0	0	0	144.453	144.453
11	0	0	0	184.538	184.538	0	0	0	135.768	135.768
>12 anos	84.987	1.375.096	465.502	0	1.925.586	40.881	859.902	335.767	704.370	1.940.920
Total	84.987	1.375.096	465.502	2.334.560	4.260.145	40.881	859.902	335.767	3.057.521	4.294.072

AIII.15 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário A

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	421	5.469	2.448	1.837	10.175	7.917
2015	293	4.213	3.869	2.903	11.278	8.082
2020	192	3.289	5.487	4.113	13.081	8.776
2025	105	2.341	7.221	5.411	15.079	9.563

AIII.16 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário B

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	421	5.487	2.305	1.730	9.943	7.792
2015	293	4.213	3.532	2.650	10.688	7.745
2020	192	3.289	4.854	3.638	11.973	8.143
2025	105	2.341	6.261	4.691	13.398	8.602

AIII.17 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário C

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	421	5.487	2.416	1.813	10.136	7.903
2015	293	4.213	3.808	2.857	11.171	8.021
2020	192	3.289	5.343	4.005	12.828	8.631
2025	105	2.341	7.021	5.261	14.729	9.363

AIII.18 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Otimista – Cenário D

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	421	5.469	1.211	909	8.010	6.680
2015	293	4.213	805	604	5.915	5.018
2020	192	3.289	678	506	4.664	3.966
2025	105	2.341	557	416	3.419	2.898

AIII.19 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário A

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	383	5.129	2.041	1.531	9.083	7.169
2015	235	3.415	2.985	2.239	8.873	6.399
2020	134	2.299	3.783	2.835	9.050	6.081
2025	64	1.437	4.367	3.272	9.141	5.804

AIII.20 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário B

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	340	255	9.065	8.214
2010	383	5.129	1.931	1.449	8.892	7.060
2015	235	3.415	2.732	2.050	8.432	6.147
2020	134	2.299	3.352	2.512	8.297	5.650
2025	64	1.437	3.792	2.841	8.134	5.229

AIII.21 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário C

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	383	5.129	2.021	1.516	9.049	7.149
2015	235	3.415	2.939	2.205	8.793	6.353
2020	134	2.299	3.683	2.761	8.877	5.982
2025	64	1.437	4.246	3.182	8.929	5.683

AIII.22 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) da frota da CSP por tipo de Combustível - Projeção Conservadora – Cenário D

Ano			Flex		Emissão Total	
	Álcool	Gasolina	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool
2005	595	7.874	341	255	9.065	8.215
2010	383	5.129	1.046	785	7.343	6.175
2015	235	3.415	691	518	4.858	4.105
2020	134	2.299	474	354	3.260	2.772
2025	64	1.437	342	255	2.099	1.779

AIII.23 – Consumo de combustíveis pela frota de veículos da CSP - Projeção Otimista

Consumo de álcool												
Cenário	A			B			C			D		
Ano	litros	m ³	GJ									
2005	1.214.134.827	1.214.135	27.342.316	1.214.134.827	1.214.135	27.342.316	1.214.134.827	1.214.135	27.342.316	1.214.134.827	1.214.135	27.342.316
2.010	2.231.732.418	2.231.732	50.258.614	2.161.430.401	2.161.430	48.675.413	2.218.950.233	2.218.950	49.970.759	1.592.623.168	1.592.623	35.865.874
2.015	2.231.732.418	2.231.732	50.258.614	2.161.430.401	2.161.430	48.675.413	2.218.950.233	2.218.950	49.970.759	1.592.623.168	1.592.623	35.865.874
2.020	4.362.918.930	4.362.919	98.252.934	3.939.093.286	3.939.093	88.708.381	4.262.712.614	4.262.713	95.996.288	1.022.708.393	1.022.708	23.031.393
2.025	5.723.083.781	5.723.084	128.883.847	5.026.800.277	5.026.800	113.203.542	5.573.660.904	5.573.661	125.518.844	742.321.236	742.321	16.717.074
Consumo de gasolina												
Cenário	A			B			C			D		
Ano	litros	m ³	GJ									
2005	8.912.898.302	8.912.898	310.703.635	8.912.898.302	8.912.898	310.703.635	8.912.898.302	8.912.898	310.703.635	8.912.898.302	8.912.898	310.703.635
2.010	8.146.569.614	8.146.570	283.989.417	8.074.917.652	8.074.918	281.491.629	8.133.541.984	8.133.542	283.535.274	7.495.188.147	7.495.188	261.282.259
2.015	7.897.165.536	7.897.166	275.295.191	7.718.544.498	7.718.544	269.068.461	7.864.688.984	7.864.689	274.163.058	6.273.337.918	6.273.338	218.688.560
2.020	7.508.523.062	7.508.523	261.747.114	7.174.167.321	7.174.167	250.091.473	7.432.383.168	7.432.383	259.092.877	4.970.526.609	4.970.527	173.272.558
2.025	7.022.510.308	7.022.510	244.804.709	6.522.680.252	6.522.680	227.380.634	6.919.040.750	6.919.041	241.197.761	3.573.525.045	3.573.525	124.573.083

AIII.24 – Consumo de combustíveis pela frota de veículos da CSP - Projeção Conservadora

Consumo de álcool												
Cenário	A			B			C			D		
Ano	litros	m ³	GJ	litros	m ³	GJ	litros	m ³	GJ	litros	m ³	GJ
2005	2.428.269.597	2.428.270	54.684.631	1.214.134.798	1.214.135	27.342.316	1.214.134.798	1.214.135	27.342.316	1.214.134.798	1.214.135	27.342.316
2.010	3.859.721.226	3.859.721	86.920.922	1.872.887.826	1.872.888	42.177.434	1.919.501.924	1.919.502	43.227.183	1.411.926.184	1.411.926	31.796.578
2.015	5.011.938.919	5.011.939	112.868.864	2.343.226.444	2.343.226	52.769.460	2.476.379.820	2.476.380	55.768.074	1.026.487.506	1.026.488	23.116.499
2.020	6.098.714.170	6.098.714	137.343.043	2.756.506.651	2.756.507	62.076.530	2.979.320.294	2.979.320	67.094.293	714.797.395	714.797	16.097.237
2.025	7.026.414.563	7.026.415	158.234.856	3.089.457.089	3.089.457	69.574.574	3.421.481.639	3.421.482	77.051.767	455.685.863	455.686	10.262.046
Consumo de gasolina												
Cenário	A			B			C			D		
Ano	litros	m ³	GJ	litros	m ³	GJ	litros	m ³	GJ	litros	m ³	GJ
2005	17.730.529.241	17.730.529	618.086.249	8.912.898.183	8.912.898	310.703.631	8.912.898.183	8.912.898	310.703.631	8.912.898.183	8.912.898	310.703.631
2.010	14.414.845.321	14.414.845	502.501.508	7.395.636.873	7.395.637	257.811.901	7.443.055.832	7.443.056	259.464.926	6.926.716.050	6.926.716	241.465.321
2.015	12.034.692.133	12.034.692	419.529.368	6.181.818.077	6.181.818	215.498.178	6.291.233.119	6.291.233	219.312.387	5.099.824.880	5.099.825	177.779.895
2.020	9.801.741.868	9.801.742	341.688.722	4.991.536.514	4.991.537	174.004.963	5.166.453.189	5.166.453	180.102.558	3.474.029.836	3.474.030	121.104.680
2.025	7.920.827.860	7.920.828	276.120.059	3.975.780.919	3.975.781	138.595.723	4.212.404.006	4.212.404	146.844.404	2.193.665.983	2.193.666	76.471.196

AIII.25 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) gerada pelas fontes para produzir hidrogênio - Projeção Otimista

	Eólica			Hidráulica			Etanol			Solar Fotovoltaica		
Anos	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D
2010	6	1	51	18	3	165	24	4	221	38	7	344
2015	14	3	127	45	8	411	61	11	552	94	17	857
2020	26	6	198	85	19	643	114	26	862	176	40	1.340
2025	39	8	269	127	26	874	170	35	1.172	264	55	1.821

AIII.26 – Emissões de CO₂ (10⁶ t) gerada pelas fontes para produzir hidrogênio - Projeção Conservadora

	Eólica			Hidráulica			Etanol			Solar Fotovoltaica		
Anos	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D
2010	5	1	41	15	3	133	20	4	179	31	6	278
2015	10	2	95	34	6	308	45	8	413	71	13	642
2020	18	4	136	58	13	442	77	18	593	120	28	921
2025	23	5	163	76	16	527	102	21	707	158	33	1.099

AIII.27 – Emissões evitadas de CO₂ (10⁶ t) com a utilização de veículos CaCs para cada fonte de energia - Projeção Otimista

	Eólica			Hidráulica			Etanol			Solar Fotovoltaica		
Anos	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D
2010	226	37	2.114	214	35	2.000	208	34	1.943	194	31	1.821
2015	576	105	5.237	545	99	4.952	529	96	4.812	496	90	4.506
2020	1.082	247	8.218	1.023	233	7.773	994	227	7.554	932	212	7.077
2025	1.641	342	11.391	1.554	324	10.786	1.511	315	10.488	1.417	295	9.840

AIII.28 – Emissões evitadas de CO₂ (10⁶ t) com a utilização de veículos CaCs para cada fonte de energia - Projeção Conservadora

	Eólica			Hidráulica			Etanol			Solar Fotovoltaica		
Anos	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D
2010	187	34	1.699	177	32	1.607	172	31	1.561	161	29	1.462
2015	431	78	3.921	408	74	3.708	396	72	3.602	371	67	3.374
2020	736	170	5.654	696	160	5.348	676	156	5.198	634	146	4.870
2025	983	206	6.879	930	195	6.515	905	190	6.335	848	178	5.943