



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

MARCOS VINÍCIUS XAVIER DIAS

**IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E NAS
EMISSÕES DECORRENTE DA INTRODUÇÃO DE CARROS
ELÉTRICOS NA FROTA DE AUTOMÓVEIS**

Tese aprovada por banca examinadora em 27 de novembro de 2013,
conferindo ao autor o título de *Doutor em Ciências em Engenharia
Elétrica*

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jamil Haddad (Orientador)
Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis
Prof. Dr. Ronaldo Rossi
Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni
Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

Itajubá
2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

MARCOS VINÍCIUS XAVIER DIAS

**IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E NAS
EMISSÕES DECORRENTE DA INTRODUÇÃO DE CARROS
ELÉTRICOS NA FROTA DE AUTOMÓVEIS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências
em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Jamil Haddad, D.Sc

Novembro de 2013
Itajubá

“Eu pensava que nós seguíamos caminhos já feitos, mas parece que não os há. O nosso ir faz o caminho.”

C.S.Lewis

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a minha esposa, Leila e meus dois filhos, Pedro e João Lucas, pelo apoio incondicional, carinho e compreensão. De vocês vem minhas melhores lembranças. Por vocês supere meus limites. Para vocês são meus dias e minhas conquistas.

Meu reconhecimento e gratidão à minha mãe, D. Alice. Ainda que não seja exigido, permanece o sentimento de dívida e eterna gratidão. Você sempre foi e será essencial.

Agradeço ao Prof. Jamil Haddad pela disposição em me orientar. Sou grato não só pelo inestimável apoio e orientação técnica mas também pela amizade, paciência e dedicação. Só pelo fato de ter acreditado já valeu a empreitada.

Minha gratidão aos professores Luiz Augusto Horta e Edson Bortoni pela valiosa contribuição dividindo comigo não só conhecimento mas também experiência, enriquecendo substancialmente o trabalho.

Agradeço aos professores Luiz Octávio e Ronaldo Rossi, membros da Banca Examinadora, pela importante e pertinente contribuição através das considerações e sugestões.

Agradeço também ao professor Afonso Henriques pela oportunidade de trabalhar no projeto da matriz energética do estado de São Paulo, bem como ao amigo Ricardo Cruz pelo incentivo e auxílio com o estudo de caso.

RESUMO

Após um início promissor, os carros elétricos foram superados pelos carros com motor de combustão interna. Hoje, quase um século depois, eles voltam a ter espaço no cenário mundial. Primeiramente, este trabalho revê objetivamente a história dos carros elétricos e das tecnologias de geração de energia fotovoltaica e faz uma revisão bibliográfica dos trabalhos correlatos. Apresenta o setor de transportes no Brasil seguido pelos principais conceitos de matriz de emissões. Adota o estado de São Paulo como estudo de caso. Descreve a metodologia proposta para a projeção dos indicadores frota, desempenho energético, quilometragem média percorrida e nível de ocupação, para a projeção das emissões associadas bem como as premissas. Apresenta a metodologia de cálculo para o consumo de energia e as emissões. Define os cenários, no caso, com penetração de 10%, 30% e 60%, além do cenário base sem carros elétricos e o cenário compulsório com 100% de carros elétricos em 2035. Apresenta-se os resultados em termos de consumo e emissões para cada cenário e analisa-se comparativamente o modal rodoviário e os automóveis. Em face dos resultados obtidos, primeiramente analisa o suprimento do adicional de energia utilizando-se energia solar fotovoltaica. Em seguida é feita uma análise do impacto da eficiência dos carros elétricos no consumo de energia elétrica e, para finalizar, analisa o impacto do nível de ocupação da frota no consumo de energia e emissões do estado.

ABSTRACT

After a promising beginning electric vehicles were surpassed by internal combustion vehicles. Presently, almost a century after, they start to appear again in worldwide scenario. First of all this paper reviews objectively the story of electric cars as well as photovoltaic energy generation technologies and makes a bibliographical review of related papers. This work presents Brazilian transportation sector followed by main concepts of emissions matrix. São Paulo State is adopted as study case. It describes the proposed methodology for indicators projection such as fleet, energy performance, average mileage travelled and occupation level, for associated emissions projection as well as assumptions. The work presents the calculation methodology for energy consumption and emissions. It defines scenarios, in the case of 10%, 30% and 60%, besides the basis scenario without electric cars and the compulsory scenario with 100 % of electric cars on 2035. The results are presented for consumption and emissions for each scenario, also road transport and vehicles is comparatively analysed. In view of obtained results, analyses are carried out, first of all supply of additional energy using the solar photovoltaic energy, then electric vehicles efficiency in electric energy consumption and finally the impact of fleet occupation level in energy consumption and emissions in São Paulo State.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Contextualização	18
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo Principal	19
1.2.2. Objetivos Secundários	19
1.3. Estrutura	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. Carro Elétrico	23
2.1.1. Breve Histórico	23
2.1.2. Tecnologias	29
2.2. Energia Solar Fotovoltaica	30
2.2.1. Breve Histórico	30
2.2.2. Tecnologia.....	32
2.3. Trabalhos Correlatos	35
3. O SETOR DE TRANSPORTES E A MATRIZ DE EMISSÕES	40
3.1. O Setor de Transportes no Brasil	40
3.2. O Setor de Transportes no Estado de São Paulo	42
3.2.1. Os Transportes na Matriz Energética.....	42
3.2.2. Modais de Transporte	43
3.2.3. Intensidade Energética	44
3.2.4. Participação Energética.....	46
3.3. Matriz de Emissões	47
3.3.1. Principais Conceitos.....	47
3.3.2. Grupos de Trabalho.....	51
4. METODOLOGIAS DE PROJEÇÃO DE DEMANDA E EMISSÕES	52
4.1. Modelos de Projeção	52
4.2. O Modelo Proposto	54
4.2.1. Premissa de Projeção da Frota Total de Automóveis	54
4.3. Premissas e Projeções dos Indicadores	55
4.3.1. Frota	56
4.3.2. Desempenho Energético	62
4.3.3. Nível de Ocupação	67
4.3.4. Quilometragem Média Percorrida.....	69
4.4. Descrição dos Procedimentos Metodológicos para Emissões.....	70
4.4.1. Mecanismos Top-down e Bottom-up.....	70

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	74
5.1. Premissas e Considerações Iniciais do Estudo de Caso	74
5.1.1. Fonte de dados	74
5.1.2. Projeção.....	74
5.1.3. Parâmetros da Curva de Sucateamento.....	76
5.2. Cálculo de Consumo e Emissões.....	77
5.2.1. Cálculo do Consumo de Energia.....	77
5.2.2. Cálculo das Emissões.....	78
5.3. Cenários e Projeções	79
5.3.1. Cenário Base	81
5.3.2. Cenário 1	81
5.3.3. Cenário 2	82
5.3.4. Cenário 3	82
5.3.5. Cenário Compulsório	83
5.4. Resultados	83
5.4.1. Cenário Base	83
5.4.2. Cenário 1	85
5.4.3. Cenário 2	86
5.4.4. Cenário 3	87
5.4.5. Cenário Compulsório	88
5.5. Análise Comparativa	89
5.5.1. Modal Rodoviário	89
5.5.2. Automóveis	93
5.5.3. Comparação entre o Modal Rodoviário e os Automóveis.....	96
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	97
6.1. Análise da Oferta Utilizando Energia Solar Fotovoltaica	99
6.2. Análise do Impacto da Eficiência Energética dos Carros Elétricos no Consumo de Energia Elétrica	105
6.3. Análise do Impacto do Nível de Ocupação da Frota no Consumo de Energia e Emissões do Estado.....	107
7. CONCLUSÕES	110
8. REFERÊNCIAS	114
ANEXO 1 - TABELAS.....	120
ANEXO 2 - PLANILHAS	126

Lista de Figuras

Figura 1 - Michael Faraday	23
Figura 2 - A bateria de Gaston Planté.....	24
Figura 3 - Dois exemplares de carros elétricos de 1902. Jenatzy cab e City and Suburban Electric Victoria	25
Figura 4 - Dois exemplares de carros elétricos de 1912. Detroit Electric Coupe e Milburn Coupe.....	26
Figura 5 - Toyota Prius 2001 e Honda Insight 1999	28
Figura 6 - Alexandre-Edmond Becquerel.....	30
Figura 7 - Célula solar, 1954.	32
Figura 8 - Célula solar fotovoltaica de silício monocristalino, multicristalino e amorfo	33
Figura 9 - Consumo final de energia por setor no Brasil.....	40
Figura 10 - Participação dos modais do setor de transportes no consumo final de energia	41
Figura 11 - Estrutura do Consumo do Setor Transportes em %.....	42
Figura 12 - Consumo de energia no setor de transportes	45
Figura 13 - Intensidade Energética no setor de transportes.....	45
Figura 14 - Consumo de energia do setor de transporte no Estado de São Paulo em 2007	46
Figura 15 - Participação dos modais no consumo de energia do Estado de São Paulo em 2007	46
Figura 16 – Frota de automóveis nacional com valores reais e projetada pelo crescimento do PIB Brasil.....	54
Figura 17 – Frota de automóveis paulista com valores reais e projetada pelo crescimento do PIB São Paulo.	55
Figura 18 - Modelo de Curva de Sucateamento	57
Figura 19 – Relação entre o nível de ocupação e a utilização do veículo.	67
Figura 20 - Projeção da frota total de automóveis do estado de São Paulo.....	75
Figura 21 – Projeções das frotas de VEs	80
Figura 22 - Projeção da frota de automóveis sem carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035.....	81

Figura 23 - Projeção da frota de automóveis com 10% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035.....	81
Figura 24 - Projeção da frota de automóveis com 30% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035.....	82
Figura 25 - Projeção da frota de automóveis com 60% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035.....	82
Figura 26 - Projeção da frota de automóveis com 100% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035.....	83
Figura 27 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível no Cenário Base.....	84
Figura 28 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário Base	84
Figura 29 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível no Cenário 1	85
Figura 30 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 1	85
Figura 31 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível no Cenário 2	86
Figura 32 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 2	86
Figura 33 - Projeção do consumo de energia para automóveis, por combustível no Cenário 3	87
Figura 34 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 3	87
Figura 35 - Projeção do consumo de energia para automóveis, por combustível no Cenário Compulsório	88
Figura 36 - Projeção do consumo de energia para o modal rodoviário.....	89
Figura 37 - Veículo elétrico abastecido com energia proveniente de centrais hidrelétricas.	90
Figura 38 - Veículo elétrico abastecido com energia proveniente de centrais termelétricas a gás natural.	90
Figura 39 - Projeção do consumo de energia para o modal rodoviário.....	93
Figura 40 - Projeção das emissões associadas aos automóveis.....	95

Figura 41 - Planilha de dados Cenário Base.....	128
Figura 42 - Planilha de dados Cenário 1.	130
Figura 43 - Planilha de dados Cenário 2.	132
Figura 44 - Planilha de dados Cenário 3.	134
Figura 45 - Planilha de dados Cenário Compulsório.....	136

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Intensidade Energética no Setor de Transportes	44
Tabela 2 - Comparação entre modelos de avaliação do setor energético	53
Tabela 3 - Projeção do índice de crescimento do PIB do estado de São Paulo.....	74
Tabela 4 - Parâmetros a e b da Curva de Gompertz.....	76
Tabela 5 – Parâmetros i e c	78
Tabela 6 – Conteúdo energético dos combustíveis.	78
Tabela 7 – Fatores de emissão.....	79
Tabela 8 - Projeções de melhoria para o desempenho energético.....	80
Tabela 9 - Projeção do consumo de eletricidade para o modal rodoviário	91
Tabela 10 - Redução no consumo de energia no modal rodoviário em relação ao Cenário Base em termos percentuais.	91
Tabela 11 - Projeção das emissões associadas ao modal rodoviário.....	92
Tabela 12 - Redução percentual das emissões associadas ao modal rodoviário em comparação com o Cenário Base.....	92
Tabela 13 - Projeção do consumo de eletricidade para os automóveis	93
Tabela 14 - Redução percentual do consumo de energia para automóveis em comparação com o Cenário Base.....	94
Tabela 15 - Projeção do consumo de eletricidade para automóveis.....	94
Tabela 16 - Redução percentual das emissões associadas aos automóveis em comparação ao Cenário Base.....	95
Tabela 17 - Comparação do valor de consumo de energia entre o modal rodoviário e automóveis, projetada para o ano de 2035.....	96
Tabela 18 - Comparação das emissões associadas ao modal rodoviário e automóveis, projetadas para o ano de 2035.....	96
Tabela 19 - Projeção do consumo de eletricidade do estado de São Paulo para o ano de 2035.....	97
Tabela 20 - Projeção das emissões totais de CO ₂ equivalente do estado de São Paulo para o ano de 2035	97
Tabela 21 - Relação de cada cenário com o consumo total de energia elétrica do estado em termos percentuais.....	98

Tabela 22 - Relação da redução das emissões de cada cenário com as emissões totais do estado em termos percentuais.	98
Tabela 23 - Potencial solar do estado de São Paulo	100
Tabela 24 - Dados das diferentes tecnologias de células solares	100
Tabela 25 - Valores mínimo e máximo de energia diária gerada pelas células solares	101
Tabela 26 - Valores anuais mínimo, máximo e médio de energia gerada para cada 1 kWp, por tipo de célula solar	102
Tabela 27 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário 1	102
Tabela 28 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário 2	103
Tabela 29 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário 3	103
Tabela 30 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário Compulsório	103
Tabela 31 - Relação entre área equivalente e área de telhado útil de referência.....	104
Tabela 32 - Valores de desempenho energético projetados	106
Tabela 33 - Projeção do consumo de energia para os automóveis para o Cenário 1.....	106
Tabela 34 - Redução percentual do consumo de energia para os automóveis para o Cenário 1	106
Tabela 35 - Projeção do consumo de energia para os automóveis variando-se o Nível de Ocupação (NO) para o Cenário 1	108
Tabela 36 - Redução percentual do consumo de energia em relação ao cenário base para os automóveis para o Cenário 1.	108
Tabela 37 - Projeção das emissões totais de CO ₂ equivalente do estado para diferentes valores do Nível de Ocupação	108
Tabela 38 - Redução percentual das emissões em relação ao cenário base	109
Tabela 39 - Frota de automóveis projetada para 2035 em número de veículos.	120
Tabela 40 - Projeção da frota de automóveis no Cenário Base, por tipo de combustível, para 2035, em número de veículos.	120
Tabela 41 - Projeção da frota de automóveis com 10% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035	120
Tabela 42 - Projeção da frota de automóveis com 30% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035	121
Tabela 43 - Projeção da frota de automóveis com 60% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035	121

Tabela 44 - Projeção da frota de automóveis com 100% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035	121
Tabela 45 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário Base.....	122
Tabela 46 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário Base.....	122
Tabela 47 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário 1	122
Tabela 48 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 1	123
Tabela 49 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário 2	123
Tabela 50 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 2	123
Tabela 51 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário 3	123
Tabela 52 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 3	124
Tabela 53 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário Compulsório	124
Tabela 54 - Projeção do consumo de energia para o modal rodoviário	124
Tabela 55 - Projeção do consumo de energia para automóveis.....	125
Tabela 56 - Projeção das emissões associadas aos automóveis	125

Lista de Siglas

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
BEESP	Balanço Energético do Estado de São Paulo
BEM	Balanço Energético Nacional
BEV	Battery Electric Vehicle
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CA	Calor Aparente
CARB	California Air Resources Board
CC	Consumo de energia
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COMMEND	Community for Energy, Environment and Development
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
DAESP	Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo
DH	Departamento Hidroviário
DSC	Dye-densitized Solar Cells
ELC	Emissões Líquidas de Carbono
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERC	Emissões reais de carbono
GEE	Gases de Efeito Estufa

GN	Gás Natural
GNV	Gás Natural Veicular
GWP	Global Warming Power
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IPCC	Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
LCA	Life Cycle Assessment
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning System
LR	Linear Regression
MCI	Motor de Combustão Interna
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
NEMS	National Energy Modeling System
NLR	Non-linear Regression
NMVOC	Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metânicos
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PCS	Poder Calorífero Superior
PEV	Pure Electric Vehicle
PIB	Produto Interno Bruto
PNGV	Partnership for a New Generation Vehicles
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PNV	Plano Nacional de Viação

PV	Photovoltaics
QC	Quantidade de Carbono
QCF	Quantidade de Carbono Fixado
SEI	Stockholm Environment Institute
tEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TJ	Terajoule
VE	Veículo Elétrico
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido Plugin
VOC	Volatile Organic Compounds
ZEV	Zero Emission Vehicle

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Após um início promissor, os carros elétricos foram superados pelos carros com motor de combustão interna. Hoje, quase um século depois, eles voltam a ter espaço no cenário mundial. E é esse retorno dos carros elétricos à discussão, juntamente com significativas iniciativas buscando sua consolidação como alternativa viável aos problemas de mobilidade associados à baixa emissão de poluentes, que podem permitir que uma parte dos motores de combustão interna sejam substituídos pelos motores elétricos, mais eficientes e menos poluentes.

No período em que os carros elétricos se mostravam promissores, no início do século XX, as principais vantagens destes veículos eram a ausência de vibrações, os baixos ruídos e a ausência de marchas. Mas a difusão do petróleo aliado ao seu baixo custo, assim como a baixa autonomia contribuíram significativamente para o fracasso dos carros elétricos naqueles dias.

Em termos mundiais, o setor de transporte é responsável por aproximadamente 14% das emissões globais de gases de efeito estufa e isso deverá aumentar para 50% até 2030 segundo a IEA (Egbue e Long, 2012). Essa projeção indica que o atual sistema de transporte é insustentável.

No Brasil, o setor de transportes é responsável por 30% do consumo total de energia do país (BEN, 2012) e, no que diz respeito às emissões, esse percentual ultrapassa os 40% das emissões de CO₂ (MCTI, 2013). Não é por acaso que forma-se um consenso para que grande parte das ações institucionais que visam a redução das emissões, devam ser focadas no setor de transportes.

Os índices alarmantes de emissões associado a outras questões ambientais, as incertezas quanto ao futuro das reservas de petróleo e seus problemas geopolíticos e também os avanços tecnológicos relacionados às baterias colocam os carros elétricos de novo no páreo, criando um cenário favorável a eles como alternativa na substituição dos carros com motores a combustão.

A transformação do setor de transporte como um todo é necessária para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, a poluição do ar e a dependência dos combustíveis fósseis. É nesse

contexto que os veículos elétricos se apresentam como uma tecnologia de transporte viável no curto prazo, capaz de proporcionar mobilidade sustentável.

1.2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são divididos em principal e secundários:

1.2.1. Objetivo Principal

- Desenvolver uma metodologia híbrida e não-dedicada para projeção dos indicadores frota, desempenho energético, quilometragem média percorrida e nível de ocupação. Híbrida por se caracterizar pela utilização de um modelo de projeção do tipo *bottom-up*, porém, associado a uma variável projetada a partir de um modelo *top-down*. Não-dedicada por ser passível de aplicação em qualquer país, estado, cidade ou região.

1.2.2. Objetivos Secundários

- Aplicar a metodologia para o estado de São Paulo;
- Analisar a utilização da energia solar fotovoltaica para suprimento do consumo de energia;
- Levantar o impacto da eficiência energética dos carros elétricos no consumo de energia elétrica;
- Levantar o impacto do nível de ocupação da frota no consumo de energia do estado;
- Determinar as emissões associadas aos resultados obtidos, e
- Apresentar e analisar os resultados obtidos.

1.3. Estrutura

Este trabalho foi dividido em sete capítulos, referências e dois anexos.

O presente Capítulo faz uma introdução ao trabalho como um todo, primeiramente fazendo uma contextualização do tema apresentando as razões pelas quais os carros elétricos voltaram a ter notoriedade quase um século após terem sido superados pelos veículos equipados com motores de combustão interna. Apresenta o setor de transportes como um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia e pelas emissões de poluentes associadas ao consumo desta energia. Estabelece a contribuição deste setor no Brasil e apresenta três fatores que contribuíram para o retorno dos carros elétricos como opção na substituição dos carros com motores a combustão interna. Este Capítulo ainda apresenta os objetivos do trabalho e em seguida descreve a forma como ele foi estruturado.

O Capítulo 2 inicia fazendo um retrospecto sobre os carros elétricos. Primeiramente apresenta-se um breve histórico mostrando que o carro elétrico não é uma invenção recente, sendo as origens de seu desenvolvimento datado no início do século XIX. Em seguida identifica-se os três períodos principais na história dos carros elétricos e constrói-se uma linha do tempo descrevendo-se os principais fatos, eventos e invenções que contribuíram para o desenvolvimento tecnológico dos carros elétricos. Na descrição destes eventos, destaca-se o período de ascensão dos carros elétricos e os motivos da sua queda. Na sequência mostra as razões que trouxeram os carros elétricos de volta lideradas pelas necessidade de diminuir a dependência do mercado do petróleo importado e pelas questões ambientais. Ainda discorrendo sobre carros elétricos descreve as tecnologias primeiramente definindo seus tipos e descrevendo cada um deles.

Ainda no Capítulo 2, assim como feito para os carros elétricos procedeu-se para a energia solar fotovoltaica, ou seja, primeiramente fez-se um breve histórico desde a primeira observação do fenômeno da conversão de energia solar em energia elétrica pelo físico francês Edmond Becquerel passando pelas descobertas de Max Planck, Albert Einstein e Schrödinger. Depois cita a descoberta acidental da primeira célula solar por Russel Ohl até a montagem da primeira célula solar em 1954 pelos Laboratórios Bell. Em seguida analogamente aos carros elétricos descreve as principais tecnologias destacando suas principais características.

Encerrando o Capítulo 2, é feita uma revisão dos trabalhos correlatos ao tema deste estudo apresentando os autores e o desenvolvimento dos seus trabalhos.

No Capítulo 3 é apresentado primeiramente o setor de transportes no Brasil através de dados a respeito da sua malha viária e sua distribuição geográfica. A caracterização do setor continua sendo descrita em termos energéticos mostrando que, no Brasil o setor de transportes é responsável por 30% do consumo total de energia do país dos quais 27,5% é de responsabilidade do modal rodoviário. Em seguida apresenta o setor de transportes especificamente no estado de São Paulo, primeiramente em termos da Matriz Energética mostrando a contribuição de cada combustível no consumo do estado. Na sequência são descritos os quatro modais e suas características bem como as informações sobre a intensidade energética do setor de transportes no estado. Ainda no Capítulo 3 é caracterizada a matriz de emissões apresentando seus principais conceitos: efeito estufa, os gases de efeito estufa, o IPCC e finalmente os grupos de trabalho.

No Capítulo 4 apresenta-se a metodologia de projeção, que vem a ser um dos objetivos do trabalho. Primeiramente apresenta-se os conceitos dos modelos de projeção *top-down* e *bottom-up* comparando-os a partir de suas principais características. Define-se a premissa de projeção da frota total de automóveis e em seguida apresenta-se o modelo proposto, definindo-se os indicadores alvo das projeções: frota, desempenho energético, nível de ocupação e quilometragem média percorrida. Na sequência estabelece-se as premissas e a metodologia de projeção para cada indicador. Ainda que apenas os automóveis sejam alvo do estudo deste trabalho foi apresentada a metodologia completa para o modal rodoviário. Ainda neste Capítulo foi descrito os procedimentos metodológicos para as emissões incluindo os métodos de cálculo para estimativa das emissões procedentes da queima de combustíveis fósseis bem como a abordagem utilizando os mecanismos *top-down* e *bottom-up* para emissões.

No Capítulo 5 é feita a aplicação da metodologia para o estado de São Paulo. Primeiramente são apresentadas as premissas e fontes de dados referentes à aplicação para o estado. A partir das séries históricas e das premissas previamente definidas, são obtidas as projeções dos indicadores para os cenários propostos. Na sequência são definidos os cenários de estudo e as projeções de frota. Em seguida apresenta-se os resultados das projeções para cada cenário em termos de consumo de energia e emissões. Finalmente faz-se uma análise comparativa dos

resultados em termos de consumo e emissões para o setor de transportes, para o modal rodoviário, para os automóveis e para os três segmentos juntos.

No Capítulo 6, procede-se a análise dos resultados primeiramente comparando-se o consumo de energia relacionada a cada cenário e as emissões associadas, ao total de consumo de energia e emissões do estado. Em seguida faz-se uma análise do suprimento deste consumo excedente devido à introdução dos carros elétricos na frota utilizando-se a energia solar fotovoltaica. Para cada tipo de tecnologia de célula solar fotovoltaica, calcula-se a área de painéis equivalente para suprir o consumo em cada cenário, compara-se então cada valor encontrado com a área de um "telhado padrão" para obtenção de um número teórico de residências estimado para instalação dos painéis visando suprir o consumo adicional.

Ainda neste Capítulo, é feita uma análise do impacto da eficiência energética no consumo de energia elétrica da frota de automóveis propondo-se três valores esperados para melhoria do desempenho energético dos carros elétricos no cenário 2035: 5%, 10% e 20%. A partir desses valores verifica-se o impacto no consumo de energia elétrica da frota de carros elétricos introduzida na frota de automóveis do estado de São Paulo.

Para fechar o Capítulo 6 é feita uma análise do impacto do nível de ocupação dos veículos no consumo de energia do estado de São Paulo. Foram considerados 5 valores para a análise, ou seja, nível de ocupação igual a 1, 2, 3, 4 e 5 passageiros por veículo. Assumiu-se como base o Cenário 1 e como referência de comparação os resultados para nível de ocupação igual a 1. A partir dessas considerações levantou-se o comportamento do consumo de energia no estado para as diferentes situações.

Finalmente no Capítulo 7, para fechar o trabalho, destaca-se as conclusões e recomendações decorrentes da realização deste estudo, sugerindo futuros trabalhos que não puderam ser tratados neste texto por não estarem no escopo desta abordagem, mas que, com certeza, contribuirão para o desenvolvimento do tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Carro Elétrico

2.1.1. Breve Histórico

Na verdade, o carro elétrico não é uma invenção recente. Sua história começou no início do século XIX tendo a França e Inglaterra como seus primeiros desenvolvedores (DOE/EERE, 2005).

Pode-se organizar a história dos carros elétricos em três períodos:

- Os anos iniciais - o século XIX;
- Ascensão e declínio - o século XX, e
- Os anos atuais - o século XXI.

Alguns fatos ou desenvolvimentos anteriores contribuíram para o advento do carro elétrico. Entre eles pode-se citar a descoberta do italiano Alessandro Volta, que em 1800 demonstrou que a energia elétrica poderia ser armazenada quimicamente. Depois em 1831, Michael Faraday (Figura 1) demonstrou os princípios da indução eletromagnética e a íntima relação entre corrente elétrica e magnetismo, lançando assim as bases para os motores e geradores elétricos, que seriam essenciais para os carros elétricos.



Figura 1 - Michael Faraday (1791-1867). (Wikipedia)

Segundo Hoyer (2008), a história do carro elétrico tem uma relação estreita com a história das baterias. Foi em 1859 que o belga Gaston Planté apresentou a primeira bateria a base de chumbo e ácido que veio, posteriormente, ser usada nos veículos elétricos que foram produzidos no final do século XIX (Figura 2). Somente em 1901 as baterias a base de níquel-ferro foram desenvolvidas por Thomas Edison. Essas baterias, apesar de possuírem maior capacidade de armazenamento em relação às baterias de chumbo, tinham um custo de produção muito maior.

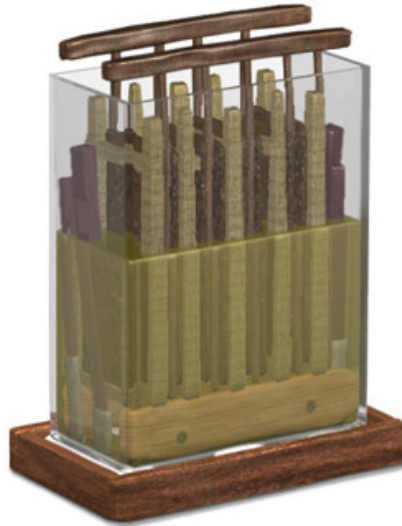


Figura 2 - A bateria de Gaston Planté. (Magnet Lab)

Quanto ao desempenho, não foi só o desenvolvimento das baterias que contribuiu para a melhora dos carros elétricos. Segundo Baran e Legey (2010), outras duas tecnologias também foram importantes neste aspecto: a frenagem regenerativa e o sistema híbrido gasolina-eletricidade.

Segundo Westbrook (2001), o período de maior intensidade no desenvolvimento dos carros elétricos foi de 1880 até 1920. A maioria dos principais avanços deu-se neste período e suas bases permanecem até os dias de hoje. Ford (1994) indica três períodos de grande interesse pelos carros elétricos. O primeiro em meados da década de 60 devido a crescente preocupação com a poluição nos centros urbanos. O segundo na década de 70 devido os problemas de importação do petróleo e o terceiro em meados da década de 80 por razões que serão citadas mais à frente.

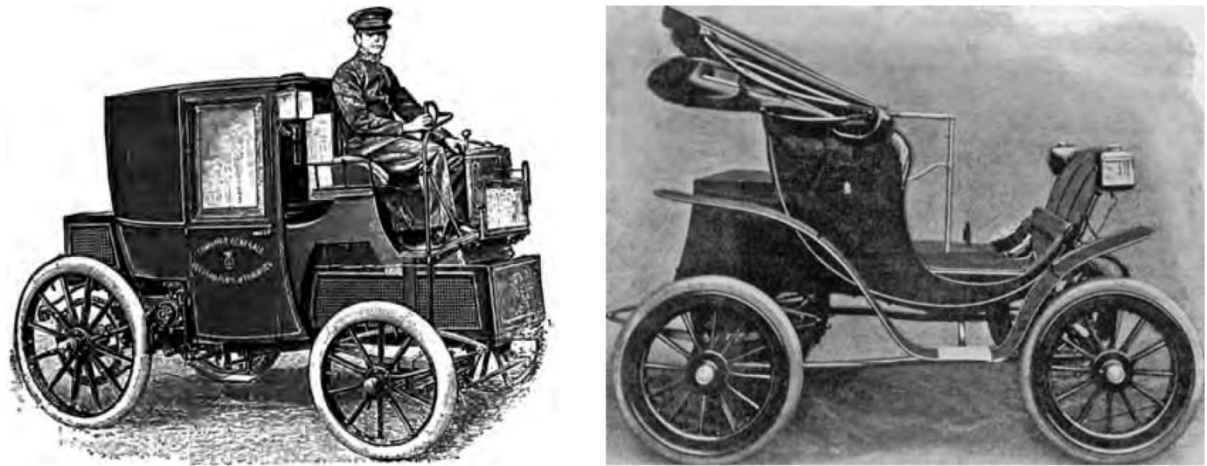


Figura 3 - Dois exemplares de carros elétricos de 1902. Jenatzy cab (esq.) e City and Suburban Electric Victoria (dir.). (Anderson e Anderson, 2010)

No final do século XIX e início do século XX o mercado de automóveis se dividia entre o carro elétrico, a vapor e a gasolina. As Figura 3 e Figura 4 mostram alguns exemplos de carros elétricos do início do século XX. De acordo com Hoyer (2008), em 1903 a cidade de Nova York tinha quatro mil veículos motorizados registrados dos quais 53% eram a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. O ápice de utilização dos carros elétricos nos Estados Unidos deu-se no ano de 1912 quando atingiu-se o número de cerca de 30.000 veículos. Foi após este ápice que iniciou-se o declínio dos carros elétricos. Segundo o DOE/EERE (2005), este declínio deu-se devido a alguns fatores:

- Em 1920, as cidades já encontravam-se interligadas o que exigia veículos com autonomia para percorrer longas distâncias;
- A descoberta de petróleo no Texas provocou uma queda no preço da gasolina tornando-a mais atrativa aos consumidores;
- A invenção da partida elétrica em 1912 eliminou o incômodo do uso das manivelas de partida nos motores dos veículos a gasolina;
- O início da produção em série dos veículos com motor de combustão interna (MCI) por Henry Ford tornou estes veículos mais baratos e acessíveis de tal forma que em 1912 um carro a gasolina já custava menos da metade de um carro elétrico.

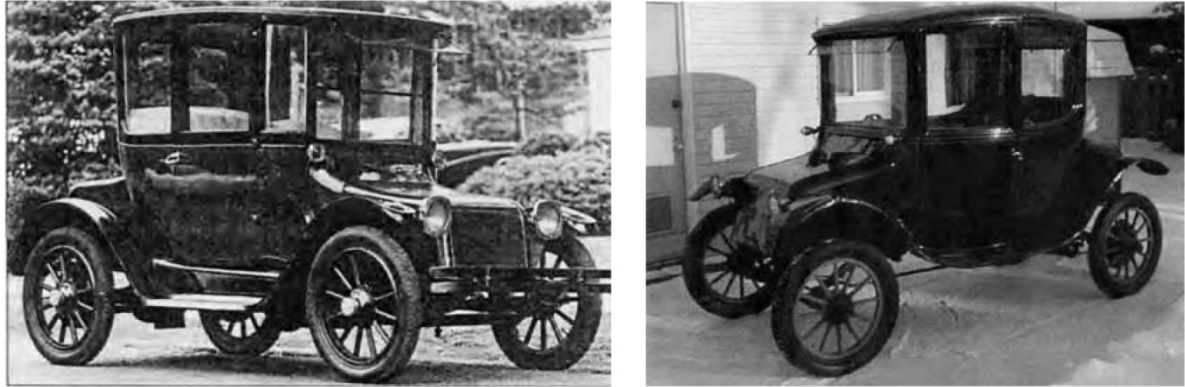


Figura 4 - Dois exemplares de carros elétricos de 1912. Detroit Electric Coupe (esq.) e Milburn Coupe (dir.). (Anderson e Anderson, 2010)

Ainda segundo Hoyer (2008), em 1935, os carros elétricos já haviam desaparecido e permaneceram no esquecimento, tanto em termos de uso quanto de desenvolvimento tecnológico até os anos 60. Foi nesse período que o mundo começou a se voltar para as questões ambientais e os carros elétricos voltaram a ser pauta das montadoras, já que os carros a gasolina eram considerados um dos principais agentes de emissão de poluentes na atmosfera das grandes cidades.

Tendo as questões ambientais entrado definitivamente na agenda de discussões sobre a geração e consumo de energia, Baran e Legey (2010) apontam três fatos que mostraram a necessidade de desenvolvimento de alternativas tecnológicas renováveis para a geração de energia. São eles:

- A publicação em 1972 do livro *Limites para o Crescimento*, que chamou a atenção para a necessidade de um limite para a exploração de recursos naturais não renováveis.
- A crise do petróleo, em 1973, causada pelo embargo de produtores de petróleo, que causou uma onda de racionamento em diversos países.
- A conscientização a respeito do uso da energia nuclear, tais como a segurança operacional e o destino dos dejetos radioativos.

O interesse do governo federal dos EUA em reduzir o consumo de gasolina teve início com o embargo do petróleo no início dos anos 70 (Peterson e Michalek, 2012) e esta década poderia ter sido um período propício para o desenvolvimento dos carros elétricos já que estes combinavam emissão nula de poluentes com a possibilidade da utilização de fontes de energia

limpa (solar, eólica e ondas) para suprir o consumo de energia elétrica. Diversas tentativas ocorreram no sentido de trazê-los de volta ao mercado, no entanto os carros elétricos, tanto os puros como os híbridos, ainda não estavam em condições de competir com os veículos convencionais.

No fim da década de 80, os carros elétricos voltaram a ganhar atenção devido aos problemas de poluição das grandes cidades (Ford, 1994). Foi em 1990 que a Califórnia introduziu suas primeiras medidas de regulação de emissão zero (Baran e Legey, 2010). Estas medidas estimularam novas iniciativas de desenvolvimento dos veículos elétricos durante esta década. A busca pela redução das emissões já não se pautava exclusivamente pela necessidade de reduzir-se a poluição mas agora também influenciada por outro tema, o desenvolvimento sustentável. O setor de transporte esteve sempre no centro dessas discussões por ser ele um dos grandes responsáveis pelas emissões e, portanto, o maior interessado no desenvolvimento de novas tecnologias e fontes alternativas de energia.

Sovacool e Hirsh (2008), relatam que no início da década de 90, o governo do estado da Califórnia determinou que as montadoras deveriam oferecer veículos elétricos aos consumidores. Foi definida uma cota de vendas de veículos com emissão zero (ZEV). A responsável por esta determinação foi a *California Air Resources Board* (Carb) que definiu os percentuais das cotas em 2% em 1998, 5% em 2001 e 10% em 2003. Outros estados como Nova York e Massachusetts também adotaram medidas semelhantes. Foi a partir desta determinação que a GM e a Honda iniciaram o desenvolvimento de veículos elétricos que fossem viáveis do ponto de vista comercial. Entretanto esta medida encontrou adversários de peso de forma que as companhias de petróleo, através do financiamento da campanha de políticos contrários ao carro elétrico, conseguiram enfraquecer estas iniciativas até que em 1996 a Carb postergou seu cronograma.

Em 1993, já no governo Clinton, outra iniciativa tentava viabilizar o carro elétrico. Um programa chamado *Partnership for a New Generation Vehicles* (PNGV) buscava desenvolver um veículo de baixa emissão com consumo de 4 litros/100 km. Segundo Anderson e Anderson (2010), neste programa foram investidos aproximadamente US\$ 1 bilhão que resultaram em três protótipos híbridos. Nenhum destes protótipos chegou a ser comercializado.

Em 1997 a Toyota lançou no mercado japonês seu modelo híbrido, o *Toyota Prius* sedan quatro portas. No mesmo ano, a Audi lançou na Europa, após atrasos no desenvolvimento, o modelo

híbrido *Duo*. Entretanto a Audi não obteve sucesso nas vendas do seu modelo, e a produção foi interrompida.

Já no final da década de 90, mais precisamente em 1999, a Honda foi a primeira montadora a lançar um modelo híbrido no mercado americano. O modelo *Insight*, de duas portas logo se tornou um sucesso (Figura 5, dir.). Quatro anos depois, em 2003, a Honda volta a lançar outro modelo híbrido, o *Honda Civic Híbrido*. Em 2000, O *Toyota Prius* (Figura 5, esq.) foi lançado no mercado americano logo se tornando um sucesso de vendas, surpreendendo até seu fabricante. Em 2004, foi a vez da Ford lançar seu modelo híbrido, o *Ford Escape*.



Figura 5 - Toyota Prius 2001(esq.) e Honda Insight 1999 (dir.). (Wikipedia)

Tendo em vista reduzir a dependência do mercado americano do petróleo importado, o governo americano promulgou em 2007 o *Energy Independence and Security Act*, que destinou, entre 2008 e 2013, US\$ 95 milhões por ano para pesquisa de um sistema de transporte elétrico e formação de recursos humanos especializados. Além disso, fomentou a indústria de automóveis elétricos liberando US\$ 25 bilhões aos fabricantes e fornecedores para produção de veículos e componentes até 2020.

No Brasil, segundo Peres (2000), o primeiro veículo elétrico a ser utilizado foi um ônibus pertencente a The Rio de Janeiro Tramways, Light and Power Co. Ltd. Mas, o interesse do governo brasileiro por este tipo de veículo só viria por ocasião do segundo choque do petróleo quando houve um esforço no sentido de diminuir as importações deste combustível.

Cabe destacar alguns eventos relacionados como o I Seminário sobre Veículos Utilitários a Bateria que aconteceu em São Paulo em 1984 e o Encontro Técnico sobre Veículos Elétricos realizado no mesmo ano no Rio de Janeiro sendo promovido pela Eletrobrás. (Eletrobrás, 1984).

Também merece ser citado o lançamento do primeiro veículo elétrico comercial do Brasil, o ITAIPU, que foi lançado em 1974 pela Gurgel S.A., uma empresa totalmente nacional. Entretanto, no Brasil, as atividades relacionadas ao VE's foram descontinuadas e abandonadas, tendo sido resumidas a iniciativas isoladas.

2.1.2. Tecnologias

Segundo Castro e Ferreira (2010), define-se veículo elétrico como aquele tracionado por pelo menos um motor elétrico. Ainda que nos veículos com motores de combustão interna existam motores elétricos, apenas nos veículos elétricos esses motores estão ligados direta ou indiretamente ao sistema de tração.

Dickerman e Harisson (2010) colocam que o termo VE na verdade, engloba diferentes tecnologias veiculares. Os principais tipos encontrados hoje são:

- VE: veículos elétricos puros. Neste caso o veículo funciona com um motor elétrico alimentado por baterias que podem ser recarregadas. Também podem ser encontradas nomenclaturas alternativas como PEV e BEV;
- VEH: veículos elétricos híbridos. Estes veículos funcionam com um motor convencional de combustão interna e usam baterias para incrementar a eficiência. Eles não usam eletricidade de nenhuma fonte externa, e
- VEHP: veículos elétricos híbridos plug-in. Os VEHPs podem ser carregados com eletricidade como os VEs e funcionar com um motor de combustão interna como os VEHs. Esta combinação proporciona maior autonomia de rodagem além de promover tanto a redução de custos, pela economia de combustível, quanto a redução de emissões. Existem dois tipos: híbridos paralelos e híbridos série.
 - ✓ Híbridos paralelo: são os veículos VEHP onde tanto o motor elétrico quanto o de combustão interna são mecanicamente acoplados ao eixo do veículo através de um sistema de transmissão.

- ✓ Híbridos série: são os veículos VEHP onde o motor elétrico é acoplado diretamente ao sistema de transmissão enquanto o motor de combustão interna é utilizado apenas para carregar as baterias quando necessário.

Em todos os tipos de VEs, a energia perdida em forma de calor na frenagem pode ser recuperada por meio de um gerador conectado a bateria. Os VEs tem a vantagem de possuir uma mecânica mais simples mas, por outro lado, são limitados tecnologicamente pelo alcance atual das baterias. Os veículos VEHs e VEHPs, tem a vantagem de usar as baterias para otimizar a eficiência dos motores de combustão interna. Este ganho de eficiência é obtido pela redução no tamanho do MCI necessário para o desempenho esperado.

Neste trabalho serão considerados apenas os VEs, ou seja, os veículos elétricos puros que não utilizam outro tipo de combustível a não ser a energia elétrica.

2.2. Energia Solar Fotovoltaica

2.2.1. Breve Histórico

As origens das células solares remontam a 1839 quando o físico francês Edmond Becquerel (Figura 6) observou pela primeira vez o fenômeno da conversão de energia solar em energia elétrica. Na ocasião, ao fazer incidir luz em um eletrodo imerso em uma solução eletrolítica, ele constatou uma diferença de potencial em seus extremos.

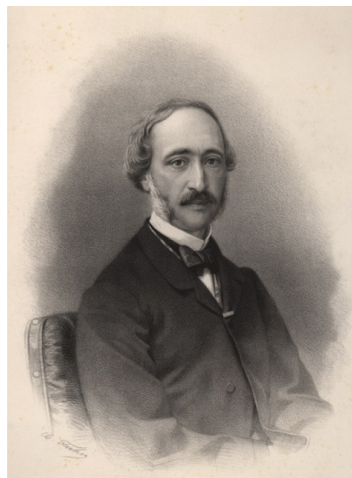


Figura 6 - Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891). (Wikipedia)

Segundo Green (2000), as células solares tem suas origens em algumas das mais importantes descobertas do século 20. O cientista alemão Max Planck, começou o século mergulhado no problema da tentativa de explicar a natureza da luz emitida por corpos quentes, como o sol por exemplo. Ele precisou fazer suposições sobre a energia sendo restringida a níveis discretos para unir teoria e observações. Segundo Stachel (1998), este fato estimulou Albert Einstein a postular que a luz era composta por pequenas partículas, mais tarde denominadas *photons*, que continham uma quantidade muito pequena de energia determinada por sua cor. Por exemplo, os *photons* azuis tem cerca de duas vezes a energia dos *photons* vermelhos.

A sugestão radical de Einstein levou à formulação e desenvolvimento da mecânica quântica, culminando em 1926 com a equação das ondas de Schrödinger. Esta equação teve sua solução obtida por Wilson para materiais na forma sólida em 1930, o que o levou a explicar a diferença entre metais, condutores de eletricidade e isolantes, bem como as propriedades dos semicondutores. Os elétrons nos metais são livres, permitindo a corrente elétrica fluir livremente. Já nos isolantes, os elétrons estão presos nas ligações mantendo os átomos dos isolantes juntos. Eles precisam de uma certa energia para liberá-los dessas ligações tornando-os móveis. O mesmo princípio se aplica aos semicondutores, diferenciado apenas pela quantidade de energia exigida ser menor.

Ainda segundo Green (2000), Russel Ohl descobriu acidentalmente a primeira célula solar em 1940. Ele ficou surpreso ao medir uma grande tensão elétrica no que ele pensava ser uma haste de silício puro, quando fez incidir sobre ela a luz de uma lanterna. Investigações mais apuradas mostraram que pequenas concentrações de impurezas concediam a uma parte do silício propriedades apelidadas "negativas" (tipo n). Sabe-se hoje, que estas propriedades são causadas pelo excesso de elétrons móveis com suas cargas negativas. Outras partes do silício tinham propriedades chamadas de "positivas" (tipo p), que hoje, sabe-se também, ocorrem devido à deficiência de elétrons, causando um efeito similar ao excesso de carga positiva.

Segundo Riordan e Hoddeson (1997) citado por Green (2000), em 1949, William Shockley desenvolveu a teoria dos dispositivos formados pela junção entre regiões "positivas" e "negativas" (junções p-n). A partir desta teoria ele desenhou os primeiros transistores. A revolução dos semicondutores seguiu-se na década de 50, resultando na montagem da primeira célula solar em 1954 pelo Bell Laboratories (Figura 7).

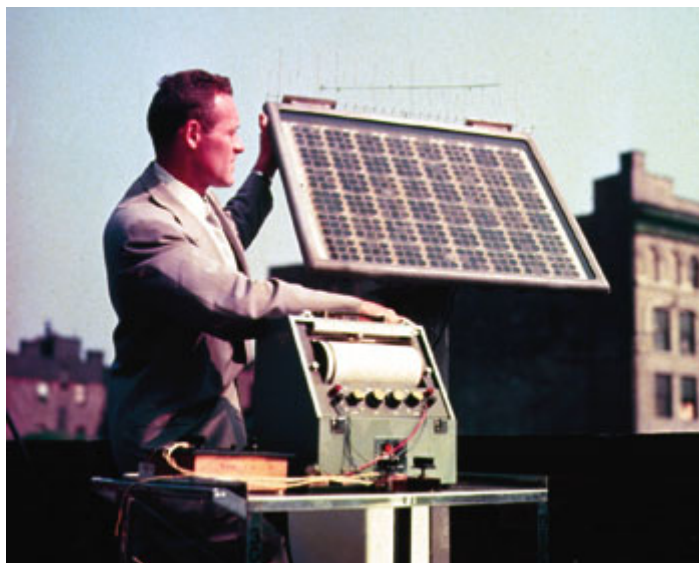


Figura 7 - Célula solar, 1954. (Bell Labs)

A primeira utilização de células solares foi no programa espacial a partir de 1958. Esta foi a principal aplicação comercial até o início da década de 70, quando o embargo do petróleo estimulou a retomada de estudos sobre o potencial das células solares. Hoje a indústria de células solares criou raízes e tem crescido rapidamente. Destaca-se neste cenário os últimos anos, cujo crescimento foi impulsionado pela discussão sobre a redução das emissões dos gases de efeito estufa aliado a redução dos custos na produção das células.

2.2.2. Tecnologia

Segundo Lynn (2010), as células de silício tem sido o carro-chefe da indústria de células fotovoltaicas por muitos anos e hoje são responsáveis por mais de 80% da produção mundial. Módulos que utilizam este tipo de célula tem uma longa história de confiabilidade, com garantias de durabilidade de 20 a 25 anos que são condições excepcionais para produtos manufaturados. Embora células de outros materiais estejam constantemente sendo desenvolvidas, inclusive com algumas já em produção comercial, será difícil desbancar a hegemonia das células de silício. A tecnologia de base é a dos semicondutores: a célula solar de silício é uma forma especial de diodo semicondutor. Felizmente, o silício na forma de dióxido de silício (areia de quartzo) é um componente extremamente comum na crosta terrestre e é essencialmente não-tóxico.

Do ponto de vista do mercado, existem dois tipos de células de silício cristalino produzidas em grande escala: as Monocristalinas (sc-Si) e as Multicristalinas (mc-Si, também chamadas policristalinas) (Figura 8). Estes dois tipos são denominados tecnologias de primeira geração. Existe ainda um outro tipo, também de uso comum, que são as células de silício amorfo (Figura 8). Estas porém já estão no grupo das tecnologias de segunda geração, formado pelos seguintes materiais semicondutores: Silício Amorfo (a-Si), Telureto de Cádmio (CdTe), Copper Indium Diselenide (CIS) e ainda Copper-Indium-Gallium-Diselenide (CIGS). Estes materiais aparecem também com o nome de células de Filme Fino. Existem ainda as tecnologias de terceira geração que são as células que podem ser fabricadas utilizando-se materiais orgânicos (como óleo de buriti, polímeros, corantes fotossensíveis); nanopartículas de TiO_2 (dióxido de titânio) ou ZnO_2 (dióxido de zinco) com ou sem nanotubos de carbono; nanotubos de carbono decorados com CdS (sulfeto de cádmio). Uma última categoria são as tecnologias de concentradores solares, que usam um concentrador ótico para focalizar a radiação solar em uma pequena célula de alta eficiência.

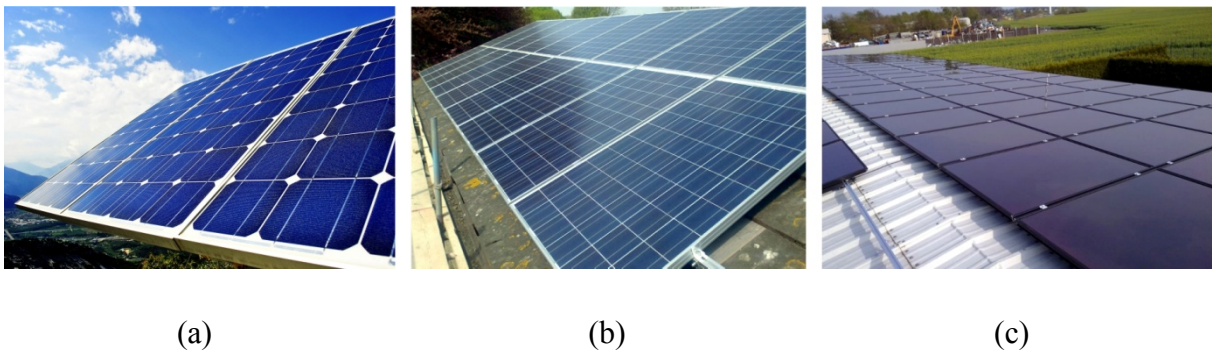


Figura 8 - Célula solar fotovoltaica de silício monocristalino (a), multicristalino (b) e amorfo (c). (solarvoltaics)

Ainda como células de última geração, pode-se citar as células do tipo DSC (Dye-densitized Solar Cells) que apresentam um conceito alternativo para os atuais dispositivos fotovoltaicos com junções do tipo p-n. Em contraste com os sistemas convencionais, onde o semicondutor assume tanto a tarefa de absorção de luz quanto de transporte da carga, neste caso as duas funções são separadas. A absorção da luz é feita através de um sensibilizador colocado na superfície de um semicondutor de banda larga. A separação da carga acontece na interface através da injeção foto-induzida de elétrons do corante na banda de condução do sólido e a

carga é então transportada pela banda de condução do semicondutor para o coletor de carga. (Grätzel, 2003)

Descreve-se a seguir as características básicas dos principais tipos de células solares.

2.2.2.1. Monocristalino (sc-Si)

Este é o tipo de célula mais eficiente, feita com uma fina fatia obtida a partir de um grande cristal produzido a partir de silício puro fundido. As células circulares, geralmente com diâmetro próximo a 15 cm, tem uma suave cor prateada e são, geralmente, cortadas na forma hexagonal, visando maximizar sua disposição nas placas. Contatos finos e barramentos são usados para conduzir a corrente a partir das células que tem uma estrutura cristalina altamente ordenada e propriedades uniformes e previsíveis. Seu processo de produção tem um alto custo e exige cuidados. A eficiência dos módulos comerciais está na faixa de 22,3 a 23,5 % (Green, et al., 2013). A relação área/potência é de cerca de 7 m²/kW_p.

2.2.2.2. Multicristalino ou Policristalino (mc-Si)

Este tipo de célula também é produzida a partir do silício puro fundido, porém utilizando-se um processo de fundição. À medida que o silício arrefece ele se torna um grande e irregular multicristal, que é então cortado em finas fatias quadradas ou retangulares para formar as células individuais. Sua estrutura cristalina, sendo aleatória, não é tão ideal quanto a estrutura dos materiais monocristalinos, gerando células com uma eficiência ligeiramente menor. Esta desvantagem, porém, é compensada pelo custo menor dessas células. Os módulos e células apresentam geralmente uma cor distintamente azul e uma aparência cintilante que parece escamas. Os módulos multicristalinos apresentam eficiências na faixa de 18,1 a 18,9% (Green, et al., 2013) e nos últimos anos tem superado os módulos monocristalinos em termos de volume de produção. A relação área/potência é de cerca de 8 m²/kW_p

2.2.2.3. Silício Amorfo (a-Si)

Silício Amorfo foi a primeira tecnologia de filme fino utilizada em células solares. Muitas pessoas tem encontrado pequenas células de silício amorfo em produtos que utilizam energia solar como relógios e calculadoras. Elas foram introduzidas no mercado na década de 80. Células de silício amorfo são mais baratas que as células de silício cristalino porém, tem uma eficiência muito menor, tipicamente na faixa de 8,0 a 8,4% (Green, et al., 2013). Atualmente, módulos grandes estão disponíveis e podem ser utilizados onde espaço não é um problema, como por exemplo, na fachada de prédios. A relação área/potência é de cerca de $16 \text{ m}^2/\text{kW}_p$.

2.3. Trabalhos Correlatos

Em 1993, Rahman e Shrestha (1993) escreveram que o interesse da concessionária de energia elétrica em veículos elétricos estava nos benefícios previstos ou esperados além do simples aumento nas vendas de energia. Esperava-se que a carga de VE acontecesse fora dos horários de pico, sem afetar a máxima demanda de pico, aumentando assim a venda de energia de baixo custo. No entanto, o impacto do carregamento do veículo elétrico no consumo de energia não é determinado apenas pelo número de veículos elétricos em uso, mas também pelo número de veículos a serem carregados simultaneamente, juntamente com o perfil de carregamento do módulo da bateria. O consumo diário de energia por um veículo elétrico limita-se pelo ciclo e o tempo de carregamento, enquanto que o seu impacto sobre a demanda do sistema dependeria da hora e do padrão de carregamento.

Peres (2000), propôs uma metodologia para estudos de planejamento, visando a avaliação das operações de recarga das baterias de um grupo de veículos elétricos atuando num centro urbano. Os cálculos envolvidos levavam em conta a natureza aleatória do horário de início bem como do estado prévio das baterias. Adicionalmente, foram computados os impactos energéticos e sobre o meio ambiente quando se substitui automóveis convencionais, a gasolina, pelos veículos elétricos considerados. Resultados de simulações com o modelo analítico desenvolvido apresentaram coerência com os índices de desempenho energético dos veículos elétricos em um dia típico. A realização de um estudo para a cidade de Curitiba, com base na metodologia indicou a potencialidade de viabilização do emprego de veículos elétricos em áreas urbanas no

Brasil, mediante uma perspectiva de inserção da estrutura sócio econômica sob a égide do desenvolvimento sustentável.

A análise feita por Hadley e Tsvetkova (2009), demonstrou que a penetração de VEHPs no mercado de veículos era capaz de criar mudanças substanciais na rede elétrica. A demanda, geração, os preços da eletricidade e as emissões dos utilitários criados pela introdução de VEHPs gerariam previsões de alta e em algumas regiões poderiam levar a consequências negativas, se não fossem acompanhados de medidas pertinentes. Ao avaliar essas questões, concessionárias, fabricantes e órgãos reguladores poderiam de forma conjunta otimizar o sistema evitando estas consequências. A análise utilizou simplificações na modelagem da oferta e demanda no setor elétrico. Aplicou-se horários de recarga rígidas para todos os veículos em cada cenário, não ajustou-se a oferta de eletricidade para atender à demanda crescente. O inventário de oferta foi baseado em resultados de um modelo diferente (NEMS), que simulava a oferta e a demanda de forma diferente, ele não modelava o sistema de transmissão, e também não considerava todas as complexidades da regulamentação das emissões atmosféricas.

Perujo e Ciuffo (2010) analisaram o possível impacto das operações de recarga dos veículos elétricos na rede elétrica da Província de Milão e também sobre o meio ambiente no horizonte de 2030. Em particular, o impacto sobre a rede elétrica foi visto tanto em termos de consumo total de energia elétrica como da potência requerida da rede. Devido ao longo tempo de recarga exigido pelas baterias de automóveis, a probabilidade de se ter milhares de carros ligados na tomada em um dado momento não podia ser descartada. Por outro lado, o impacto sobre o meio ambiente foi visto em termos de redução das emissões de CO₂. Mesmo que, naquele momento, a matriz italiana fosse caracterizada principalmente pelo uso de centrais térmicas, que fazem uso de combustíveis fósseis não renováveis, a eficiência destas plantas era muito mais elevada do que a eficiência do motor de um veículo. Os resultados obtidos mostraram claramente que os veículos elétricos podiam contribuir para a estratégia global de redução de CO₂ no setor dos transportes, ao mesmo tempo que demonstraram que sem uma regulamentação adequada, os veículos elétricos poderiam impactar fortemente no consumo diário de energia.

Axsen e Kurani (2010) realizaram um estudo sobre veículos elétricos híbridos (VEHPs). No trabalho mostraram que estes veículos podiam ser alimentados por gasolina, pela rede elétrica, ou ambos. Para explorar os potenciais impactos de energia dos VEHP, realizaram uma pesquisa em três partes coletando dados de novos compradores de veículos na Califórnia. Foram

combinadas as informações disponíveis para estimar a energia elétrica e uso de gasolina em três cenários de recarga. Os resultados sugeriram que a utilização de veículos VEHP poderia reduzir pela metade o consumo de gasolina em relação aos veículos convencionais. Usando-se três cenários para representar as condições sobre os padrões de recarga dos VEHPs foram levantadas as vantagens e desvantagens.

Ainda sobre o impacto de veículos elétricos (VE), Mullan et al. (2011) investigaram os potenciais impactos de VEs na rede elétrica da Austrália Ocidental, as restrições sobre a capacidade do sistema para fornecer eletricidade para recarga de VEs e as opções para o gerenciamento e restrições desses impactos. A Austrália Ocidental está geograficamente isolada e a rede elétrica não tem interligação com as regiões vizinhas de forma que os mercados de energia e de veículos não eram afetados pelas questões relativas aos estados vizinhos. Este estudo eliminou as incertezas em taxas de aprovação de veículos a partir da análise, assumindo que todos os veículos novos eram VEs. Esta consideração gerou o pior cenário em termos de crescimento de carga e mostrou que ele ultrapassava os 200.000 veículos elétricos, o que representava 10% da frota, mesmo que os comportamentos de carregamento fossem isentos de restrições.

Baran (2012) analisou o impacto no consumo de gasolina e eletricidade causado pela introdução de veículos elétricos no mercado brasileiro. Para tanto, utilizou um modelo de previsão da demanda considerando quatro diferentes cenários, cada um supondo um diferente nível de penetração de veículos elétricos no mercado. Ele concluiu que a utilização de energia elétrica por automóveis permitiria uma redução do consumo de gasolina de 40,7% em 2031, acompanhado por um aumento do consumo de eletricidade de 42,1% em relação às projeções oficiais. Isto era equivalente a uma redução de 27,5% no consumo total de energia pela frota nacional. Como um dos principais argumentos contrários à introdução de carros elétricos no Brasil era que a eletricidade concorreria com o etanol e o petróleo do pré-sal, ele buscou demonstrar que a eletricidade atuaria como complemento, e não substituto, ao etanol e à gasolina. Apesar do potencial de produção de combustíveis fósseis no Brasil advindos das descobertas no pré-sal, o etanol e a eletricidade vem de fontes renováveis. A associação da dependência mínima de matéria-prima importada com a pequena oscilação de preço quando comparados aos derivados do petróleo, tornariam os veículos elétricos uma alternativa para o Brasil.

Richardson (2012) afirmou em seu trabalho que os veículos elétricos e as fontes de energia renováveis têm potencial para diminuir substancialmente as emissões de carbono tanto do setor de geração de energia quanto do setor de transportes. A adoção em grande escala de veículos elétricos causaria uma série de impactos e benefícios, incluindo a capacidade de ajudar na integração das energias renováveis nas redes elétricas já existentes.

Em sua tese, Borba (2012) elaborou uma metodologia integrada de análise do impacto no sistema energético nacional da introdução de veículos elétricos e híbridos plug-in no setor de transporte privado de passageiros. Foram desenvolvidos dois estudos de casos aplicados ao Brasil da penetração das novas tecnologias consideradas no setor de transportes nacional para o horizonte 2010 - 2040. O primeiro estudo de caso representava a análise do uso combinado de veículos elétricos e fontes renováveis de energia, mais especificamente energia eólica, no nordeste do Brasil. O segundo caso abrangia a análise do comportamento otimizado da oferta de energia elétrica no Brasil, no longo prazo, diante de diferentes taxas hipotéticas de penetração de veículos elétricos, para diferentes perfis de recarga dos veículos.

Liu (2012) fez uma estimativa da demanda de carga devido ao carregamento de veículos elétricos na cidade de Pequim, e propôs um modelo de integração para distribuir a infraestrutura de carregamento. Para Liu, cada tipo de infraestrutura de carregamento tem a sua limitação e a integração é necessária para oferecer um serviço de carregamento confiável. Além disso, embora a adoção de veículos elétricos acarrete um montante adicional no consumo de energia para a rede elétrica de Pequim, esta carga adicional pode ser acomodada pela capacidade da rede atual através do gerenciamento do tempo de carregamento e da estratégia para troca de baterias.

Denholm et al. (2012), declarou que, através de uma série de estudos, verificou-se que os impactos causados pelos veículos VEHPs no sistema de distribuição seriam relativamente pequenos se as recargas forem feitas durante a noite e fora do horário de pico. No entanto, o maior deslocamento dos combustíveis fósseis ocorreria se os veículos fossem autorizados a carregar durante o dia, maximizando o alcance da eletricidade. O carregamento durante o dia aumentaria a demanda de pico e isto poderia acarretar problemas em locais onde seja difícil aumentar a capacidade de geração e transmissão. Nestes casos, a energia solar fotovoltaica (PV) ofereceria uma opção para o suprimento de energia nos horários de pico. O estudo identificou

possíveis co-benefícios na implantação de PV em larga escala juntamente com a implantação de VEHPs.

Um estudo sobre o impacto do veículos elétricos híbridos *plugin* (VEHP) na rede elétrica e emissões da cidade de Ontario, no Canada, foi feito por Ahmadi et al (2012). Os autores declararam que os VEHPs tem um grande potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e aumentar a economia e flexibilidade de combustível. A penetração de VEHPs para o mercado de automóveis afeta a rede elétrica através de um aumento do consumo de energia elétrica. O trabalho estudou os efeitos da entrada em larga escala de VEHPs na demanda, tanto de base como de pico em Ontário, Canadá. Foram desenvolvidos modelos de previsão de longo prazo das demandas de carga e de vendas de veículos leves. Para criar modelos de previsão adequada, tanto de regressão linear (LR) e de regressão não-linear (NLR) foram empregadas técnicas, considerando diferentes faixas demográficas, climáticas e variáveis econômicas. Os resultados dos modelos LR e NLR foram comparados e o mais exato foi selecionado. Além disso, a previsão dos efeitos da penetração VEHPs foi feito através de uma análise de vários cenários de níveis de penetração. Finalmente, a demanda adicional de eletricidade na rede elétrica devido o carregamento dos VEHPs foi incorporada para fins de planejamento energético.

Lang et al. (2013), fizeram um estudo abordando os carros elétricos na China. Eles escreveram que a promoção de veículos híbridos (VEH) e elétricos (VE) tem sido proposta como uma solução promissora para reduzir o consumo de energia nos transportes e na mitigação das emissões veiculares na China. No estudo, a energia e os impactos ambientais do híbrido e VEs no período 2010-2020 foram avaliados através de uma análise de conversão de energia e uma avaliação do ciclo de vida (LCA) e também foram estimados os consumos de energia por quilometro de gasolina, carvão, gás natural (GN), óleo, biomassa, lixo e energia elétrica para VEs e VEHs. Os resultados mostraram que os VE e VEH podem reduzir o consumo de energia dos veículos pela média nacional de 17% a 19% e 30% a 33%, respectivamente. O estudo também calculou os fatores de emissão detalhados. Verificou-se que os VEH podem trazer reduções significativas das emissões de NO_x, VOC e nas emissões de CO e menores reduções de SO₂ e de CO₂ de um veículo.

3. O SETOR DE TRANSPORTES E A MATRIZ DE EMISSÕES

Para a CNT (2012), o transporte é um dos principais fatores de produção na economia e agente indutor de riqueza e desenvolvimento. A importância do setor para o país é superior à ideia inicial de mero elo entre zonas produtora e consumidora. O setor de transporte gera empregos, contribui para melhorar a distribuição de renda e melhora a qualidade de vida da população. Por outro lado, segundo Egbue e Long (2012), o setor de transportes é responsável por aproximadamente 14% das emissões globais de gases de efeito estufa e projeta-se este percentual para 50% em 2030.

3.1. O Setor de Transportes no Brasil

A malha rodoviária brasileira possui em torno de 1,6 milhão de quilômetros de extensão (de estradas pavimentadas e não pavimentadas), com uma densidade de 0,2 km/km² de área do País. Mais da metade das estradas se localiza nas regiões Sul e Sudeste, as quais concentram 73% do Produto Interno Bruto nacional. Cerca de 80% das rodovias estão sob jurisdição municipal (1,3 milhão de quilômetros), com o restante sendo responsabilidade do Governo Federal e dos Estados - 76 mil km e 220 mil km, respectivamente (Hijjar e Lobo, 2011).

Em termos energéticos, segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2012), o setor de transportes é responsável por 30% do consumo total de energia no Brasil conforme Figura 9.

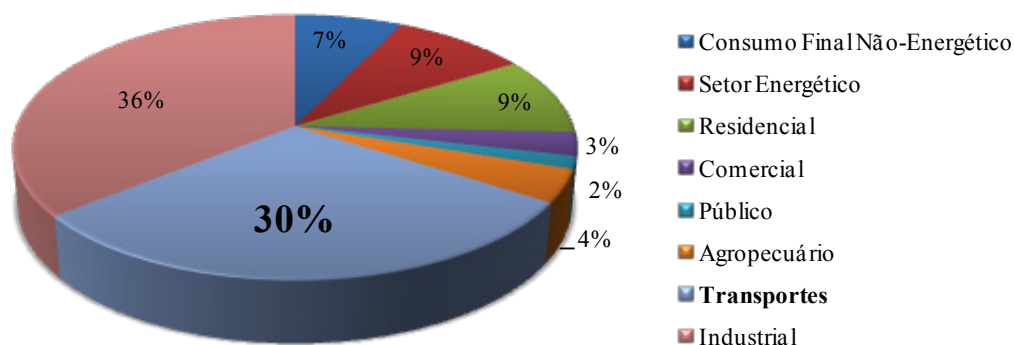


Figura 9 - Consumo final de energia por setor no Brasil. (BEN, 2012)

Se for considerado apenas o setor de transportes, o modal rodoviário é o responsável pela maior parte do consumo de energia com 27,5%. Os outros 2,5% ficam divididos entre os modais aéreo com 1,5%, ferroviário com 0,5% e hidroviário também com 0,5% conforme Figura 10.

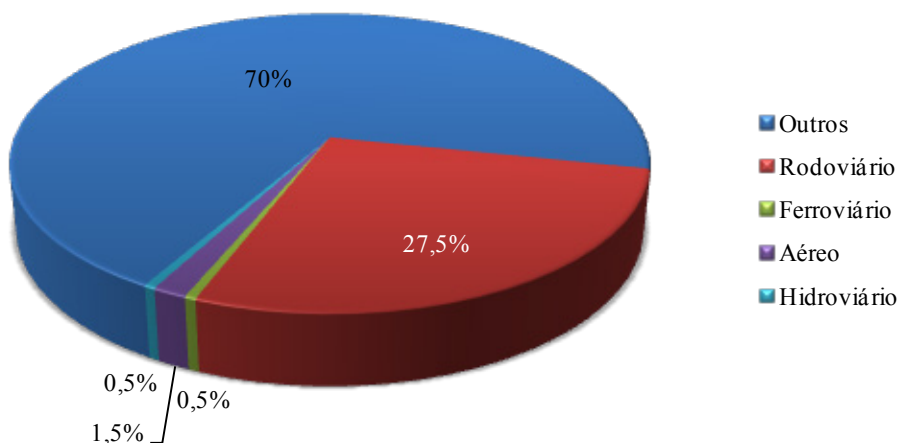


Figura 10 - Participação dos modais do setor de transportes no consumo final de energia.
(BEN, 2012)

O transporte rodoviário é o principal meio para o deslocamento de cargas dentro do Brasil. Embora o Governo Federal venha aumentando os investimentos nos outros modais, o rodoviário ainda é responsável por quase 63% do TKU (toneladas por quilômetro útil) movimentado no País, tendo transportado, em 2008, mais de 770 bilhões de TKU, volume 14% superior ao registrado em 2006. (Hijjar e Lobo, 2011).

Segundo Castro 2012, no Brasil, a frota de veículos automotores cresceu de 18 para 64 milhões, entre 1990 e 2010, mesmo com crescimento tímido da economia observado até o início dos anos 2000. A permanecer esse padrão de evolução, estima-se chegar a 2030 com um frota próxima de 230 milhões de veículos. Claramente, um padrão não sustentável de evolução. Dos derivados de petróleo consumidos no país, o setor de transportes é responsável por 51%.

3.2. O Setor de Transportes no Estado de São Paulo

Os meios de transportes são responsáveis pela movimentação de bens e pessoas tendo um papel fundamental nas sociedades. Seu desempenho provoca impactos amplos e profundos sobre o sistema socioeconômico, influenciando, de forma estratégica, tanto o progresso de um estado como de todo um país.

Tendo em vista que o estado de São Paulo foi escolhido para o estudo de caso deste trabalho, a seguir apresenta-se uma descrição deste setor para o referido estado

3.2.1. Os Transportes na Matriz Energética

O Estado de São Paulo caracteriza-se pelo predomínio do transporte rodoviário como grande consumidor de energia. Segundo o BEESP 2008, no setor de Transportes, de tradicional domínio dos derivados de petróleo, destacam-se os consumos do óleo diesel (43,4%), da gasolina (26,9%), do álcool etílico (12,9%) e do querosene (11,1%), conforme pode ser observado na Figura 11. O item “outros” foi composto pelo gás natural (2,5%) e eletricidade (0,1%). O Transporte Rodoviário foi responsável por cerca de 83,9% do total do consumo deste setor.

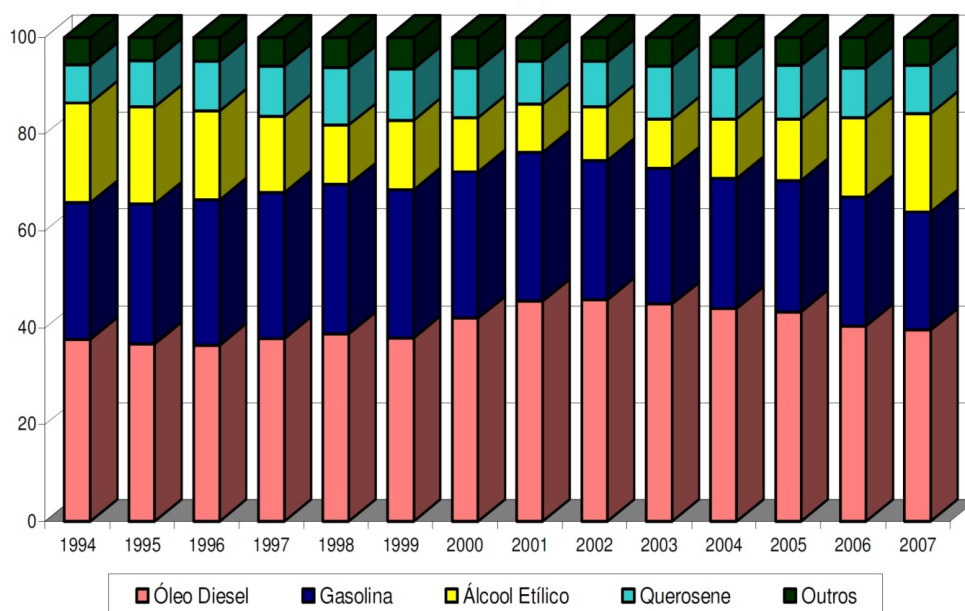


Figura 11 - Estrutura do Consumo do Setor Transportes em % (BEESP, 2008)

3.2.2. Modais de Transporte

3.2.2.1. Rodoviário

A malha viária pavimentada do Estado de São Paulo tem um total de 35 mil quilômetros, sendo 22 mil estaduais, 1.050 federais e quase 12 mil de estradas vicinais pavimentadas. Esse sistema possibilita que mais de 90% da população do Estado esteja a menos de 5 km de uma rodovia pavimentada. De toda a carga movimentada no Estado, 93% é transportada por esse modal.

Segundo pesquisa anual realizada pela CNT - Confederação Nacional do Transporte (2007), São Paulo possui a melhor malha rodoviária do país. Dezoito das vinte melhores estradas brasileiras estão localizadas em território paulista.

3.2.2.2. Aeroviário

O Governo do Estado de São Paulo, por intermédio do Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo - DAESP, vinculado à Secretaria de Estado dos Transportes, administra e mantém 32 aeroportos do interior do Estado. Esse trabalho é realizado mediante convênio entre o DAESP e o Ministério da Defesa, por meio do Comando da Aeronáutica e da Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. Além dos aeroportos administrados pelo DAESP, compõem a malha aeroviária do Estado de São Paulo, cinco aeroportos administrados pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO: Congonhas (São Paulo), Cumbica (Guarulhos), Viracopos (Campinas), Campo de Marte (São Paulo) e São José dos Campos.

3.2.2.3. Hidroviário

A Rede Hidroviária Paulista é constituída pelos rios navegáveis e potencialmente navegáveis, lagos e reservatórios e pela costa marítima do Estado. A atividade predominante é o transporte de cargas na Hidrovia Tietê-Paraná, que compreende os rios Paraná, Tietê e Piracicaba. Os demais rios interiores e de divisas do Estado, integram o Sistema Viário Nacional, estabelecido pelo Plano Nacional de Viação (PNV).

O sistema hidroviário Tietê-Paraná possui 2400 quilômetros de vias navegáveis de Piracicaba e Conchas (ambos em São Paulo) até Goiás e Minas Gerais (ao norte) e Mato Grosso do Sul,

Paraná e Paraguai (ao sul). Liga cinco dos maiores estados produtores de soja do País e é considerada a Hidrovia do Mercosul.

3.2.2.4. Ferroviário

O Estado de São Paulo tem uma malha ferroviária de cerca de 5 mil quilômetros. Essa é formada por um conjunto de linhas-tronco e ramais que ligam regiões do Interior do Estado, assim como dos estados vizinhos do Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, à Região Metropolitana de São Paulo e ao Porto de Santos, incluindo a malha metropolitana de transporte de passageiros.

A configuração da malha ferroviária paulista por meio de eixos radiais remonta à história de sua formação, que se baseou no transporte de café para o Porto de Santos, para fins de exportação.

3.2.3. Intensidade Energética

Na Tabela 1 e nas figuras seguintes é mostrada a intensidade energética no setor de transportes no estado de São Paulo, de forma agregada.

Tabela 1 - Intensidade Energética no Setor de Transportes (BEESP, 2008)

ESPECIFICAÇÃO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Consumo (1)	123279	131419	148105	157246	156585	161613	151459	146183	146677	143111	149540	153847	158038	174017
Óleo Diesel (2)	46295	48331	53841	59671	60433	61386	63656	66497	67094	64262	65856	66514	63916	68645
Gasolina + Álcool (3)	60172	64202	71629	72157	67541	72500	62671	59405	58406	54723	58457	61188	67792	77819
Outros(4)	16812	18886	22635	25418	28611	27727	25132	20281	21177	24126	25227	26145	26330	27553
PIB (5)	559630	585933	601167	624011	625883	628387	651637	659457	664733	662504	701869	727053	756862	803058
(1)/(5) 10³ kcal/RS	220,3	224,3	246,4	252	250,2	257,2	232,4	221,7	220,7	216	213,1	211,6	208,8	216,7
(2)/(5) 10³ kcal/RS	82,7	82,5	89,6	95,6	96,6	97,7	97,7	100,8	100,9	97	93,8	91,5	84,4	85,5
(3)/(5) 10³ kcal/RS	107,5	109,6	119,1	115,6	107,9	115,4	96,2	90,1	87,9	82,6	83,3	84,2	89,6	96,9

(1) Consumo Final Energético em 10⁹ kcal

(2) (3) e (4) Em 10⁹ kcal

(5) Produto Interno Bruto a preços de mercado em 10⁶ Reais de 2005.

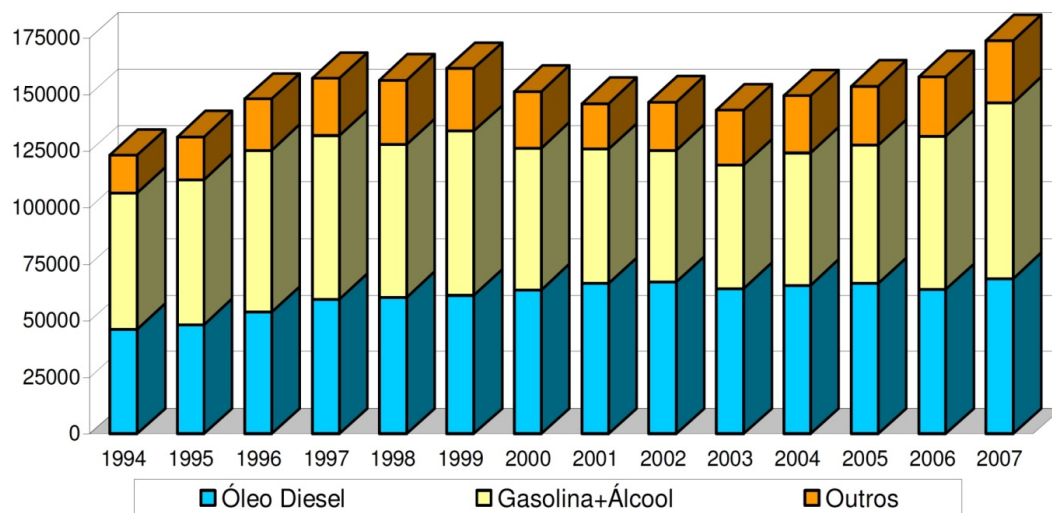


Figura 12 - Consumo de energia no setor de transportes (10^9 kcal). (BEESP, 2008)

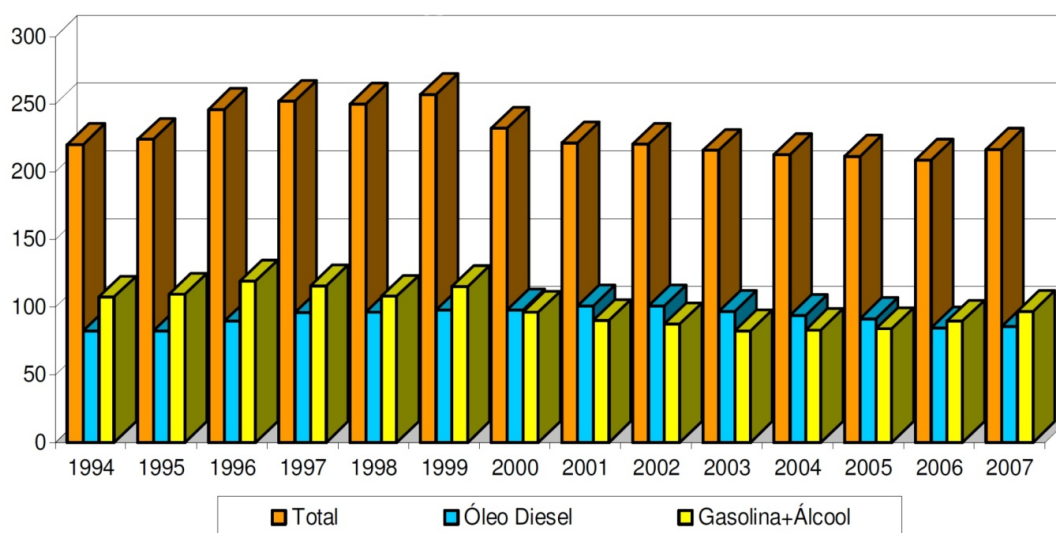


Figura 13 - Intensidade Energética no setor de transportes (kcal/R\$ de 2005). (BEESP, 2008)

3.2.4. Participação Energética

Destaca-se aqui o papel energético do setor de transportes na matriz energética total do Estado (Figura 14) e as respectivas participações de cada modal no âmbito dessa distribuição (Figura 15).

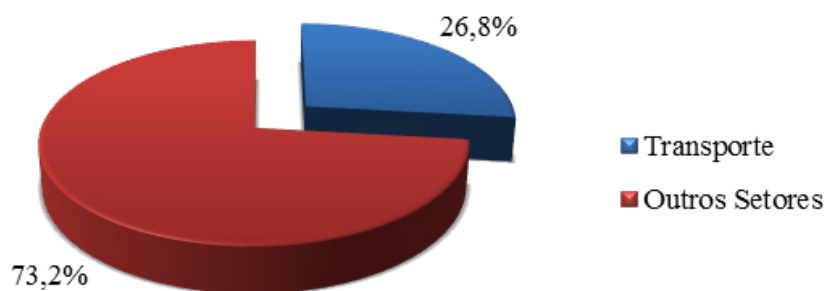


Figura 14 - Consumo de energia do setor de transporte no Estado de São Paulo em 2007.
(BEESP, 2008)

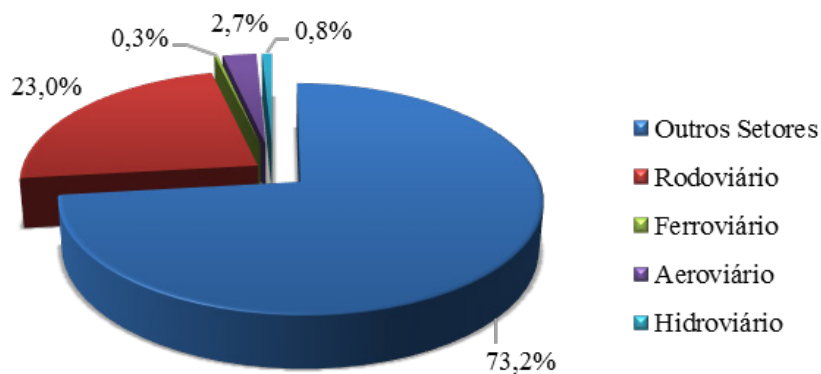


Figura 15 - Participação dos modais no consumo de energia do Estado de São Paulo em 2007.
(BEESP, 2008)

3.3. Matriz de Emissões

3.3.1. Principais Conceitos

A crescente preocupação com os efeitos da poluição atmosférica e as respectivas tentativas de minorar os efeitos do aquecimento global, assim como a própria evolução da legislação ambiental, produziram uma variada gama de princípios e conceitos, os quais são essenciais para o entendimento dos mecanismos aqui apresentados. Daí a necessidade de apresentá-los, conforme segue.

3.3.1.1. Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural que corresponde à capacidade do planeta de reter parte do calor emitido pela sua superfície para o espaço, após receber energia em forma de luz solar.

Durante o dia, parte da energia emitida pelo sol (em forma de ondas curtas) é captada pela superfície da Terra e absorvida; outra parte é irradiada para a atmosfera (em forma de ondas longas - albedo) e, devido à concentração natural de determinados gases nesta, a temperatura do planeta mantém-se mais aquecida e por um período mais longo. Isso ocorre devido à capacidade desses gases de absorver essa energia, dificultando sua saída do planeta. Segundo estudos, não fossem os gases do efeito estufa, o planeta possuiria uma temperatura média na ordem de 30°C mais fria do que atualmente (MCT & BNDES, 1999, apud Cetesb, 2010).

Todavia, esse fenômeno vem se tornando um problema socioambiental, uma vez que as atividades antrópicas, principalmente após a revolução industrial, vêm intensificando o acúmulo desses gases na atmosfera, e, provavelmente, aumentando gradativamente as temperaturas globais. Esse fenômeno é conhecido como “aquecimento global”.

O dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são os principais gases de efeito estufa. Atenção maior tem sido dedicada ao dióxido de carbono, uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo em torno de 60% do total das emissões de gases de efeito estufa (Cetesb, 2010).

A intensificação das atividades envolvendo a queima de carvão, petróleo e gás natural (combustíveis fósseis) tem liberado enormes quantidades de dióxido de carbono no ar, o qual pode permanecer na atmosfera por mais de 150 anos (parte deste total - aproximadamente 10% pode chegar a até mil anos na atmosfera terrestre).

Outras atividades básicas e intensas, como o cultivo de arroz e a criação de gado, também podem emitir gases de efeito estufa por meio de diversas reações químicas que liberam metano, óxido nitroso e outros gases (Cetesb, 2010). Além dessas, a queima de áreas florestadas e a decomposição inadequada de resíduos sólidos também contribuem para o aumento desses gases na atmosfera.

Segundo especialistas, se essas emissões não diminuïrem, os níveis dos GEE presentes na atmosfera podem triplicar até 2100. Existem suposições de que o resultado mais direto das mudanças climáticas seja o aumento da temperatura do planeta entre 1,5° e 5,8°C. Levantamentos já realizados comprovam que os dez anos mais quentes da história, desde que se começou a fazer tais registros, há mais de 130 anos, foram todos a partir de 1980 (Cetesb, 2010).

3.3.1.2. Os Gases do Efeito Estufa - GEE

De acordo com as Diretrizes do IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas) de 1996, as estimativas de gases de efeito estufa são realizadas segundo as fontes que os emitem. Durante o processo de combustão, a maior parte do carbono é emitida como CO₂. No entanto, parte do carbono é liberado na forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC)¹ ou outros gases. Para estimar a emissão desses outros gases, pode-se considerá-los apenas como gases não-CO₂. No presente estudo, são abordados gases diretos (regulados pelo Protocolo de Quioto) e indiretos (precursores dos gases

¹ São compostos orgânicos que possuem alta pressão de vapor sob condições normais a ponto de se vaporizar significativamente e entrar na atmosfera. Os compostos orgânicos voláteis não-metânicos estão associados à presença de níveis elevados de óxidos de nitrogênio que ao reagirem à reações fotoquímicas, produzem radicais de hidroxila que participam da formação do ozônio da atmosfera.

diretos, ou seja, têm efeito sobre suas concentrações, uma vez que contribuem com os processos físico-químicos que regulam seus níveis de produção ou dissipação), a saber:

- *Gases diretos*: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄).
- *Gases indiretos*: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC).

A seguir, são apresentadas as principais características de cada um dos gases de efeito estufa:

Dióxido de carbono (CO₂)

É o principal gás do efeito estufa (cerca de 60% do total das emissões). Provém da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral), queimadas e desmatamentos. Permanece na atmosfera por centena de anos (Cetesb, 2010).

Óxido nitroso (N₂O)

Ao contribuir com cerca de 6% do efeito estufa, o óxido nitroso é liberado naturalmente por microorganismos no solo, por um processo denominado nitrificação. Nas últimas décadas, a concentração deste gás teve um enorme aumento na atmosfera, devido ao uso de fertilizantes químicos, à queima de biomassa, ao desmatamento e às emissões de combustíveis fósseis (Cetesb, 2010).

Metano (CH₄)

Possui capacidade aproximadamente 20 vezes maior de reter o calor, quando comparado ao CO₂. Todavia, tem permanência na atmosfera muito menor (cerca de 15 anos). Dentre as principais fontes de emissão desse gás destacam-se a atividade pecuária (produzido por bactérias no aparelho digestivo do gado), plantações de arroz inundadas, aterros sanitários (decomposição de resíduos orgânicos), queima de biomassa e a mineração.

Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás derivado da queima incompleta de combustíveis fósseis (carvão vegetal e mineral, gasolina, querosene e óleo diesel). As queimadas também são responsáveis pelas emissões de milhões de toneladas desse gás na atmosfera.

Óxidos de nitrogênio (NO_x)

São gases formados durante processos de combustão. Os principais responsáveis pela queima desses gases são os veículos motorizados, as centrais termelétricas e as queimadas.

O NO_x, sob a ação de luz solar, transforma-se em NO₂, e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos, como o ozônio. O NO₂ reage com água formando ácido nítrico (causador da chuva ácida) e óxido nítrico (NO).

Compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC)

Classe de emissões que engloba ampla variedade de substâncias químicas orgânicas específicas, as quais exercem papel importante na formação do ozônio na troposfera (baixa atmosfera). Na troposfera, o ozônio é um gás de efeito estufa, sendo também um importante poluente do ar, local e regionalmente, causando danos significativos à saúde e ao meio ambiente.

3.3.1.3. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC

O Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas é o principal órgão de avaliação e estudo de mudanças climáticas no mundo. Foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estudar as mudanças climáticas e as suas consequências sobre os aspectos climáticos e socioeconômicos (IPCC, 1996).

O IPCC é um órgão de caráter científico. Seu objetivo é analisar e avaliar as informações científicas, técnicas e socioambientais mundiais de relevância para o estudo das mudanças climáticas. Cientistas de todo o mundo contribuem de forma voluntária com o IPCC, sendo um organismo aberto a todos os membros das Nações Unidas e da Organização Meteorológica Mundial. Os governos podem participar do trabalho do IPCC mediante revisões de seus

processos e em sessões plenárias onde são adotadas as principais decisões do programa de trabalho deste órgão, e onde se apresentam e são aprovados seus relatórios (IPCC, 1996).

Por sua natureza científica e intergovernamental, o IPCC provê informações de forma rigorosa e equilibrada aos órgãos mundiais, que tomam decisões baseando-se seus relatórios, que possuem relevante utilidade pública e política.

Atualmente, estão presentes no IPCC 194 países, possuindo, cada governo, um responsável que coordena as atividades relacionadas com Painel. Participam, também, organizações internacionais, intergovernamentais e outras governamentais pertinentes.

3.3.2. Grupos de Trabalho

Em sua estrutura, o IPCC divide-se em Grupos de Trabalho, da seguinte maneira:

- Grupo de Trabalho I: avalia os aspectos científicos do sistema climático e das mudanças climáticas.
- Grupo de Trabalho II: avalia os aspectos científico, técnico, técnico-ambiental, econômico e social da vulnerabilidade (sensibilidade e adaptabilidade) das mudanças climáticas dos sistemas ecológicos, dos setores socioeconômicos e da saúde humana, assim como os impactos negativos e positivos nesses, dando especial preponderância às questões regionais, setoriais e transetoriais.
- Grupo de Trabalho III: avalia os aspectos científico, técnico, técnico-ambiental, econômico e social da mitigação das mudanças climáticas.

4. METODOLOGIAS DE PROJEÇÃO DE DEMANDA E EMISSÕES

4.1. Modelos de Projeção

Dentre os modelos utilizados para previsão de demanda destacam-se os modelos *top-down* e *bottom-up*.

O modelo *top-down*, também conhecido como raciocínio dedutivo, consiste basicamente na desagregação de um sistema na busca pela compreensão de seus subsistemas. O processo parte do geral para o detalhe. Em uma abordagem *top-down*, uma visão geral do sistema é formulada, especificando, mas não detalhando os subsistemas de primeiro nível. Cada subsistema é então desagregado novamente em diversos níveis de subsistemas adicionais, até que toda a especificação seja reduzida a elementos básicos. Segundo Böhringer e Rutherford (2007), modelos *top-down* adotam uma perspectiva macro da economia, levando em conta as distorções iniciais de mercado, repercussões financeiras, e os efeitos de renda para diversos agentes econômicos como famílias e governo. A endogeneidade nas respostas da economia aos choques de política normalmente se apresentam por detalhes setoriais ou tecnológicos específicos. Modelos convencionais de interações de economia-energia do tipo *top-down*, têm uma representação limitada do sistema energético. Processos de transformação de energia são caracterizados por funções de produção simples que captam possíveis substituições locais (transformação) através da elasticidades das substituições (transformações). Como consequência, os modelos *top-down* geralmente carecem de detalhes sobre as opções tecnológicas atuais e futuras, que podem ser relevantes para uma avaliação adequada das propostas de política energética. Além disso, os modelos *top-down* não podem assegurar restrições físicas fundamentais, tais como a conservação da matéria e energia.

Já o modelo *bottom-up*, também conhecido como raciocínio indutivo, tem uma abordagem inversa ao *top-down*, ou seja, parte do detalhe em direção ao todo. Em uma abordagem *bottom-up*, os elementos básicos individuais do sistema são especificados inicialmente com um alto nível de detalhamento. Estes elementos são então agregados a fim de formar subsistemas de maiores dimensões, que por sua vez, são agregados novamente em subsistemas maiores e assim sucessivamente, até que seja formado um único sistema. Os modelos de projeção de demanda

em sistemas de energia do tipo *bottom-up*, são representações de equilíbrio parciais do setor de energia. Eles apresentam um grande número distinto de tecnologias visando capturar as transformações energéticas nos níveis primário e final, substituição de processos e melhorias de eficiência. Tais modelos, geralmente, não levam em consideração o impacto macroeconômico das políticas energéticas. Modelos *bottom-up* são, normalmente, expressos como problemas de otimização que analisam a combinação do menor custo das atividades do sistema de energia para atender a um determinado consumo de energia final ou serviços de energia sujeitos a restrições técnicas e de política energética (Böhringer e Rutherford, 2007).

A Tabela 2 compara as características dos modelos *top-down* e *bottom-up*, quando utilizados como modelos de avaliação do setor energético.

Tabela 2 - Comparação entre modelos de avaliação do setor energético (Heaps, 2011)

<i>Top-Down</i>	<i>Bottom-up</i>
Utiliza dados econômicos agregados	Utiliza dados detalhados sobre combustíveis, tecnologias e políticas
Avalia os custos/benefícios através do impacto sobre a produção, a renda e o PIB	Avalia os custos/benefícios de tecnologias e políticas individualmente
Captura de forma implícita os custos administrativos, de implementação e outros custos.	Pode incluir explicitamente os custos de administração e de programa
Supõe mercados eficientes.	Não assume mercados eficientes.
Captura reações e interações intersetoriais	Captura as interações entre os projetos e políticas
Comumente utilizado para avaliar o impacto do imposto sobre emissões e políticas fiscais	Comumente usado para avaliar os custos e benefícios dos projetos e programas
Não é adequado para a análise de políticas específicas de tecnologia.	

4.2. O Modelo Proposto

Apresenta-se a seguir a metodologia desenvolvida para projeção do consumo de energia para o modal rodoviário e suas respectivas emissões.

O modelo de projeção adotado na metodologia é do tipo *bottom-up*. Entretanto, optou-se por projetar a frota total de automóveis exógenamente, buscando assim fornecer maior robustez ao modelo. Ao adotar esta abordagem, impõe-se ao modelo uma característica híbrida já que a projeção da frota total segue o modelo *top-down*.

4.2.1. Premissa de Projeção da Frota Total de Automóveis

A premissa para projeção da frota total de automóveis é a projeção do crescimento da frota a partir da projeção do índice de crescimento do PIB (Produto Interno Bruto).

Tendo em vista a necessidade de consolidar-se a premissa adotada, aplicou-se a condição de projeção da premissa em um período passado onde os valores fossem conhecidos e consolidados. Desta forma considerou-se uma janela de 10 anos a partir do último ano com dados consolidados considerados neste estudo, resultando no período 1999-2008. As figuras a seguir mostram a frota de automóveis total real e projetada a partir do crescimento do PIB. Foram levantadas as curvas para o Brasil e para o estado de São Paulo, que será objeto do estudo de caso deste trabalho.

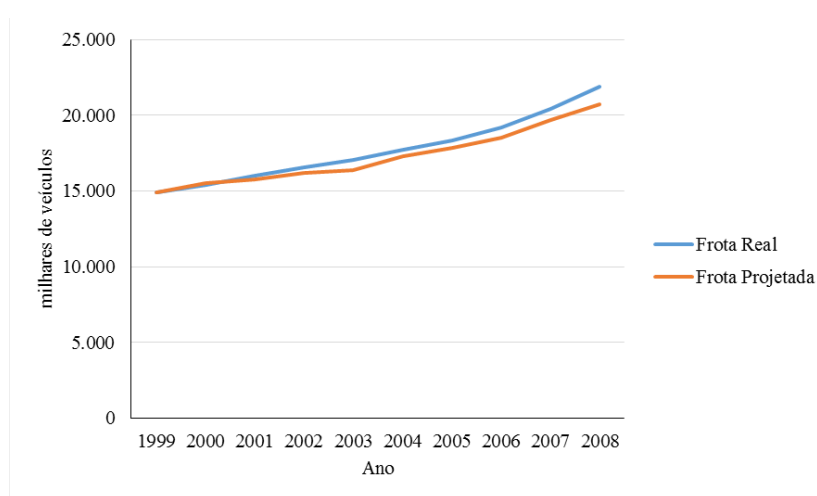


Figura 16 – Frota de automóveis nacional com valores reais e projetada pelo crescimento do PIB Brasil.

Neste caso, em valores absolutos, o erro encontrado no fim do período, ou seja, no ano de 2008 foi de 5,4% e em valores médios o percentual foi de 2,5% no período.

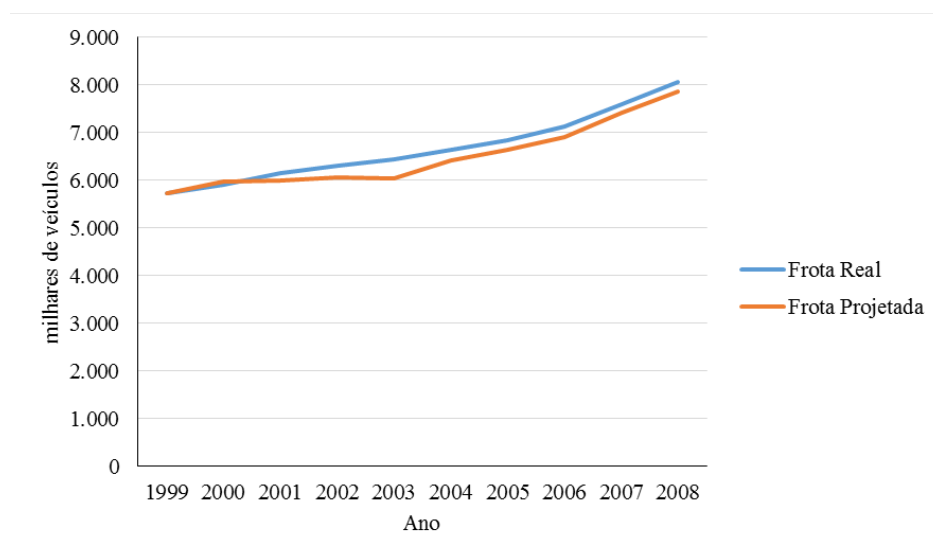


Figura 17 – Frota de automóveis paulista com valores reais e projetada pelo crescimento do PIB São Paulo.

No caso de São Paulo, o erro encontrado para o fim do período, ou seja, para o ano de 2008 foi de 2,5% em valores absolutos e com valor médio, no período, de 2,6%.

Tendo em vista os resultados obtidos, assume-se como aceitável e coerente a projeção da frota a partir da projeção dos índices de crescimento do PIB.

4.3. Premissas e Projeções dos Indicadores

Os indicadores projetados, a fim de se obter o resultado principal esperado, que é o montante de energia para o setor, são:

- Frota (número de veículos).
- Desempenho energético (km/l).
- Nível de ocupação (passageiro/veículo).
- Quilometragem média percorrida (km).

4.3.1. Frota

Devido às suas características e particularidades, a frota é desagregada visando organizar o estudo da mesma. Para os estudos de frota são considerados:

4.3.1.1. Desagregação por tipo

Desagrega-se a frota em veículos leves (automóveis e comerciais), caminhões (semileves, leves, médios, semipesados e pesados), ônibus (ônibus e micro-ônibus) e motos.

4.3.1.2. Desagregação por combustível

Os automóveis são desagregados a partir dos seguintes combustíveis: gasolina, etanol, *flex*² e GNV.

Considera-se caminhões, ônibus, e micro-ônibus como movidos a diesel.

"Novas tecnologias", como carro híbrido e elétrico, bem como ônibus e caminhões movidos a etanol e motos *flex* são consideradas separadamente.

a) Automóveis

A estimativa da frota de veículos é feita por tipo de combustível, desagregando-se em veículos movidos a gasolina (1), etanol (2), veículos *flex* (3), GNV (4), elétricos (5) e híbridos (6). Os valores entre parêntesis são os possíveis valores de *i* que foram utilizados nos casos a seguir.

Assim pode-se generalizar a função de projeção das seguintes formas:

² Apesar de "flex" (ou bi-combustível) não ser, a princípio um tipo de combustível, e sim uma classificação de veículo quanto ao seu combustível, é comum assumir esta consideração ou nomenclatura como aceitável.

a.1) Caso 1: para $i = 1, 2, 3$

$$F_i(t) = f(t) \cdot V_i(t - 1) + F_i(t - 1) - S(t), \text{ expressa em número de veículos} \quad (1)$$

Onde:

$F_i(t)$ é a frota de automóveis tipo i projetada para o ano t

$f(t)$ é a função que representa a variação na venda de veículos novos no ano t

$V_i(t - 1)$ é o número de veículos novos tipo i licenciados no ano $t - 1$

$S(t)$ representa o total de veículos tipo i sucateados no ano t

O sucateamento é estimado a partir da curva de Gompertz mostrada na Figura 18.

$$S(t) = e^{-e^{(a+bt)}}, \text{ onde:}$$

t é a idade do veículo

$S(t)$ é a fração de veículos sucateada na idade t

a e b são parâmetros de ajuste da curva

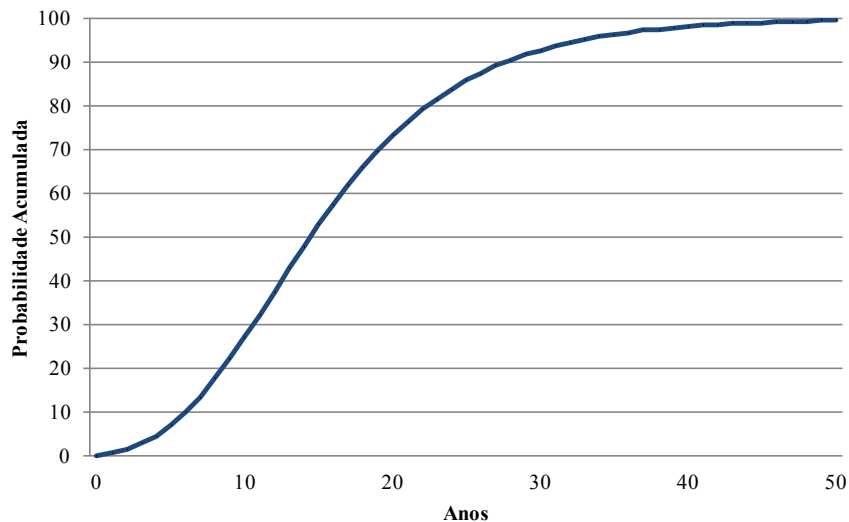


Figura 18 - Modelo de Curva de Sucateamento. (Gompertz, 1832)

O sucateamento é feito descontando-se ano a ano a quantidade de veículos que saem de circulação de acordo com as porcentagens obtidas pela curva descrita anteriormente. Os parâmetros a e b são obtidos a partir da calibração do modelo com base em dados históricos.

O efeito de ações públicas de desincentivo ao transporte individual, no tocante à venda de veículos novos está implícito na função $f(t)$.

Para efeito de análise de consistência das projeções, deve-se calcular também a taxa de motorização, visando avaliar a coerência dos resultados.

a.2) Caso 2: para $i = 4$

A projeção da frota de veículos movidos a GNV em determinado ano é determinada pela projeção do índice que representa a frota de veículos GNV como uma fração da frota total de automóveis neste ano.

Desta forma tem-se que,

$$F_i(t) = g_i(t) \cdot F(t), \quad (2)$$

Onde:

$g_i(t)$ é a função que representa a porcentagem de veículos do tipo i na frota total de veículos no ano t

$F(t)$ é a frota total de veículos no ano t

a.3) Caso 3: para $i = 5, 6$

Considera-se os automóveis elétricos e híbridos como uma fração da frota total.

Logo pode-se dizer que,

$$F_i(t) = g_i(t) \cdot F(t), \quad (3)$$

Onde:

$g_i(t)$ é a função que representa a porcentagem de veículos do tipo i na frota total de veículos no ano t

Como a frota de automóveis elétricos é uma frota nova, tendo em vista o horizonte de estudo, o sucateamento destes veículos pode ser desconsiderado.

b) Comerciais leves

A projeção da frota de veículos comerciais leves é feita de forma análoga aos automóveis mas considerando-se os combustíveis diesel (1), *flex* (2), gasolina (3) e etanol (4). Assim tem-se que:

$$F_i(t) = f(t) \cdot V_i(t - 1) + F_i(t - 1) - S(t), \text{ expressa em número de veículos} \quad (4)$$

Onde:

$F_i(t)$ é a frota de comerciais leves com combustível tipo i projetada para o ano t

$f(t)$ é a função que representa a variação na venda de veículos novos no ano t

$V_i(t - 1)$ é o número de veículos novos tipo i licenciados no ano $t - 1$

$S(t)$ representa o total de veículos tipo i sucateados no ano t

c) Caminhões

A seguir apresenta-se a metodologia para evolução da frota de caminhões. Os mesmos são desagregados quanto a capacidade de carga em semileves (1), leves (2), médios (3), semipesados (4) e pesados (5).

c.1) Caminhões convencionais (diesel)

Para cada tipo de caminhão pode-se dizer:

$$F_i(t) = \alpha_i(t) \cdot [p(t) \cdot V_i(t - 1) + F(t - 1) - S(t)] \quad (5)$$

Onde:

$F_i(t)$ é a frota do caminhão tipo i projetada para o ano t

$\alpha_i(t)$ é a variável que indica o percentual de caminhões tipo i na frota total de caminhões no ano t , onde $\sum_i \alpha_i(t) = 1$

$p(t)$ é a função que representa a variação da frota no ano t

$V_i(t - 1)$ é número de caminhões do tipo i licenciados no ano $t - 1$

$S(t)$ é a fração de caminhões sucateada no ano t

$F(t - 1)$ é frota total de caminhões no ano $t - 1$

$i = 1, 2, 3, 4$ e 5

c.2) Caminhões movidos a etanol

Como trata-se de uma frota pioneira, este grupo deve ser tratado de forma simplificada, desta forma tem-se:

$$F_e(t) = \delta(t) * F(t) \quad (6)$$

Onde:

$F_e(t)$ é a frota de caminhões movidos a etanol no ano t

$\delta(t)$ é a função que representa a porcentagem de caminhões movidos a etanol na frota total de caminhões no ano t

d) Ônibus e Microônibus

Considera-se ônibus para transporte urbano (1), interurbano (2) e microônibus (3).

Assim como no caso dos caminhões, considera-se a introdução de ônibus *flex* e movidos a etanol também de forma simplificada. Desta forma pode-se formular da seguinte maneira:

d.1) Veículos convencionais (diesel)

$$F_i(t) = \beta_i(t) \cdot [i(t) \cdot F(t - 1)] \quad (7)$$

Onde:

$F_i(t)$ é a frota do tipo i projetada para o ano t

$\beta_i(t)$ é a variável que representa o percentual da frota tipo i na frota total, no ano t

$i(t)$ é a função que representa a variação da frota no ano t

i é igual a 1, 2 ou 3

d.2) Ônibus *flex* e movidos a etanol

$$F_e(t) = \delta(t) \cdot F(t) \quad (8)$$

Onde:

$F_e(t)$ é a frota de ônibus *flex* ou movidos a etanol no ano t

$\delta(t)$ é a função que representa a porcentagem de caminhões *flex* ou movidos a etanol na frota total de caminhões no ano t

e) Motos

A projeção do número de motos é feita a partir da definição de uma taxa de crescimento da relação moto por habitante que é relacionada à taxa de crescimento da população.

Considera-se a introdução de motos *flex* no mercado brasileiro, assim, deve-se desagregar a frota de motos em gasolina (1) e *flex* (2).

Então,

$$F(t) = \gamma(t) \cdot F(t - 1) \quad (9)$$

Onde:

$F(t)$ é a frota de motos projetada para o ano t

$\gamma(t)$ é a variável que representa a taxa de crescimento da frota de motos no ano t

A frota de motos foi dividida em gasolina e *flex* de acordo com percentuais estimados para cada tipo.

4.3.2. Desempenho Energético

4.3.2.1. Automóveis

A projeção do desempenho energético dos automóveis é basicamente função das variáveis tecnológicas e da influência dos congestionamentos.

O modelo considera 3 situações distintas: Trânsito urbano (TU), Trânsito urbano com congestionamento (TC) e Trânsito expresso (intercidades) (TE).

As projeções são feitas para cada combustível, ou seja, gasolina (1), etanol (2), *flex* (3), GNV (4) e novas tecnologias (5)³. O grupo novas tecnologias é tratado separadamente.

Calcula-se o desempenho energético referente ao transporte urbano para cada ano ponderando-se o desempenho pela frota, por idade.

Obtém-se o valor final para o desempenho energético dos automóveis ponderando-se TU, TC e TE pelo número estimado de dias no ano em que o veículo trafega em cada situação.

Desta forma tem-se a seguinte expressão para calcular o desempenho energético geral ponderado da frota de automóveis:

$$DEG = \frac{DC \cdot \left[\frac{MM \cdot TC + RE \cdot TU}{100} \right] + DV \cdot TE + DTU \cdot TU}{365} \quad (10)$$

Onde:

DC corresponde ao tempo equivalente ao total de congestionamento no ano, expresso em dias.

MM é a porcentagem representativa da Mega Metrópole na frota total.

RE é a porcentagem que representa o restante do estado.

³ "Novas tecnologias" compreende automóveis elétricos e híbridos podendo incorporar também, outros tipos de tecnologia semelhantes. Neste item serão chamados de não-convencionais.

DV é o tempo equivalente ao total de viagens e condições de trânsito expresso, por veículo, no ano, expresso em dias.

DTU é o tempo equivalente à circulação em trânsito urbano expresso em dias.

a) Caso 1 - Automóveis convencionais: $i = 1, 2, 3, 4$

Tem-se:

$$a) D_{TU_i}(t) = j_i(t) \cdot D_{TU_i}(t - 1) \quad (11)$$

$$b) D_{TC_i}(t) = \delta_i(t) \cdot j_i(t) \cdot D_{TC_i}(t - 1) \quad (12)$$

$$c) D_{TE_i}(t) = j_i(t) \cdot D_{TE_i}(t - 1) \quad (13)$$

Onde:

$D_{TU_i}(t)$ é o desempenho energético para trânsito urbano, referente ao combustível i , no ano t

$D_{TC_i}(t)$ é o desempenho energético para trânsito urbano com congestionamento, referente ao combustível i , no ano t

$D_{TE_i}(t)$ é o desempenho energético para trânsito expresso, referente ao combustível i , no ano t

$j_i(t)$ é uma função que representa a evolução tecnológica referente ao combustível i , no ano t

$\delta_i(t)$ é uma variável de ajuste para agregar o efeito dos congestionamentos nos veículos que utilizam o combustível i no ano t

b) Caso 2 - Novas tecnologias: $i = 5$

Para este caso tem-se:

$$D_{NT}(t) = \varphi(t) \cdot D_{NT}(t - 1) \quad (14)$$

Onde:

$D_{NT}(t)$ é o desempenho energético dos veículos não-convencionais no ano t

$\varphi(t)$ é a variável que representa a evolução tecnológica dos veículos não-convencionais no ano t

4.3.2.2. Comerciais leves

A projeção do desempenho energético dos automóveis é basicamente função das variáveis tecnológicas.

Tem-se que:

$$D_{CL}(t) = \varphi(t) \cdot D_{CL}(t - 1) \quad (15)$$

Onde:

$D_{CL}(t)$ é o desempenho energético dos veículos comerciais leves no ano t

$\varphi(t)$ é a variável que representa a evolução tecnológica dos veículos comerciais leves no ano t

4.3.2.3. Caminhões

A projeção do desempenho energético dos caminhões é função do desenvolvimento tecnológico, sucateamento e regulamentação do setor. Adota-se que variações no desempenho energético, no mesmo ano, serão iguais para todos os tipos de caminhões movidos a diesel.

A metodologia possibilita prever também a entrada de caminhões movidos a etanol e combustíveis alternativos no mercado.

Desta forma tem-se que:

a) Caminhões convencionais (diesel)

$$D_i(t) = k(t) \cdot D_i(t - 1) \quad (16)$$

Onde:

$D_i(t)$ é o desempenho energético do caminhão tipo i no ano t

$k(t)$ é a função que indica o percentual de variação no desempenho dos caminhões no ano t

b) Caminhões movidos a etanol e combustíveis alternativos

$$D_e(t) = m(t) \cdot D_e(t - 1) \quad (17)$$

Onde:

$D_e(t)$ é o desempenho energético do caminhão no ano t

$m(t)$ é a função que indica o percentual de variação no desempenho dos caminhões no ano t

4.3.2.4. Ônibus e Microônibus

A projeção do desempenho energético para ônibus e microônibus é feita em função do desenvolvimento tecnológico e influência dos congestionamentos.

Considera-se ônibus para transporte urbano (1), interurbano (2) e microônibus (3) e também ônibus movidos a etanol.

Desta forma tem-se que:

a) Veículos convencionais (diesel):

$$D_i(t) = k(t) \cdot l(t) \cdot D_i(t - 1) \quad (18)$$

Onde:

$D_i(t)$ é o desempenho energético do veículo tipo i no ano t

$k(t)$ é a função que indica o percentual de variação no desempenho energético devido ao desenvolvimento tecnológico no ano t

$l(t)$ é a função que indica a influência do congestionamento no ano t

i é igual a 1, 2 ou 3

Obs.: Para $i = 2$, $l(t) = 1$, ou seja, considera-se que os ônibus interurbanos não sofrerão a influência dos congestionamentos, ou de outra maneira, o tempo de congestionamento que pode ocorrer ao entrar ou sair da cidade pode ser desconsiderado frente ao tempo total da viagem.

b) Ônibus movidos a etanol e outros combustíveis:

$$D_e(t) = q(t) \cdot D_e(t - 1) \quad (19)$$

onde:

$D_e(t)$ é o desempenho energético do ônibus movido a etanol no ano t

$q(t)$ é a função que indica o percentual de variação no desempenho energético devido ao desenvolvimento tecnológico no ano t

4.3.2.5. Motos

A projeção do desempenho energético de motos é feita em função do desenvolvimento tecnológico. O modelo considera os combustíveis gasolina (1) e *flex* (2).

Então,

$$D_i(t) = l(t) \cdot D_i(t - 1) \quad (20)$$

Onde:

$D_i(t)$ é o desempenho energético da moto que utiliza combustível tipo i no ano t

$l(t)$ é a função que representa o desenvolvimento tecnológico para motos tipo i no ano t

4.3.3. Nível de Ocupação

4.3.3.1. Automóveis

Esta variável expressa a forma como a frota é utilizada. Assim, quanto maior o nível de ocupação, menor o número de veículos que estão sendo utilizados.

A variação do nível de ocupação não influencia a frota e sim a forma como esta se comporta, desta forma, o efeito das alterações no nível de ocupação é sentido diretamente na quantidade de dias em que o veículo foi utilizado no ano, que por sua vez, influencia diretamente a quilometragem média percorrida pelo mesmo conforme mostrado a seguir.

Considerando-se um ano como 52 semanas (364 dias), adotou-se como premissa as seguintes condições:

- Nível de ocupação 1: o veículo é utilizado 364 dias por ano;
- Nível de ocupação 2: o veículo é utilizado 244 dias por ano;
- Nível de ocupação 3: o veículo é utilizado 204 dias por ano;
- Nível de ocupação 4: o veículo é utilizado 184 dias por ano, e
- Nível de ocupação 5: o veículo é utilizado 172 dias por ano.

A partir desses valores foi feita a interpolação dos pontos a partir de uma curva do tipo exponencial obtendo-se a figura que se segue.

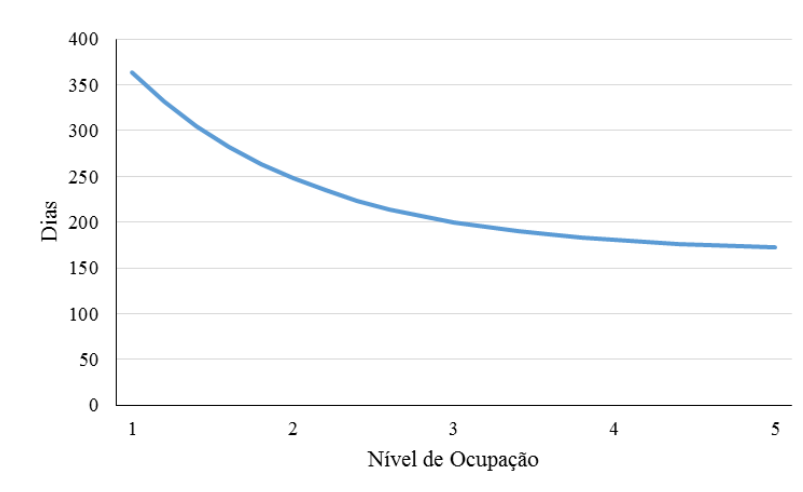


Figura 19 – Relação entre o nível de ocupação e a utilização do veículo.

A partir desta relação, define-se o grau de utilização do veículo em dias. De posse da informação do número de dias utilizados, ajusta-se os valores de referência de quilometragem média anual percorrida para cada veículo e conseqüentemente da frota.

A estimativa do nível de ocupação para automóveis é feita com base nos cenários das ações públicas de desincentivo ao uso do transporte individual a partir do incentivo ao uso dos transportes coletivos. Os valores permitidos para esta variável variam de 1 a 5 incluindo decimais.

4.3.3.2. Caminhões

A projeção do nível de ocupação para caminhões é função do desenvolvimento tecnológico e da utilização de caminhões maiores e estendidos.

Então,

$$N(t) = n(t) * N(t - 1) \tag{22}$$

Onde:

$N(t)$ é o nível de ocupação no ano t

$n(t)$ é a função que representa o desenvolvimento tecnológico no ano t

4.3.3.3. Ônibus, Microônibus e Motos

Considera-se o nível de ocupação para ônibus, microônibus e motos constante. O aumento na utilização destes tipos de veículos deve incorporado pelo indicador frota assumindo-se que a relação passageiros/veículos encontra-se saturada, portanto, qualquer aumento no número de passageiros implicará no aumento do número de veículos.

4.3.4. Quilometragem Média Percorrida

4.3.4.1. Automóveis

A quilometragem média anual percorrida pela frota automóveis é obtida a partir de valores de referência ponderados pela frota, por idade, dos veículos. O cálculo é feito por combustível, no caso, gasolina ($c=1$), etanol ($c=2$) e flex ($c=3$).

Assim,

$$QMP_c(t) = \frac{\sum F_c(i) * QMP_c(i)}{\sum F_c(i)} \quad (23)$$

Onde:

$QMP_c(t)$ é a quilometragem média anual percorrida pela frota de veículos do tipo c no ano t .

$F_c(i)$ é frota de veículos do tipo c com i anos de idade. Com i variando de 1 a 79.

$QMP_c(i)$ é a quilometragem média anual percorrida pela frota tipo c com i anos de idade. Com i variando de 1 a 79.

4.3.4.2. Comerciais leves

A projeção da quilometragem média anual percorrida pelos veículos comerciais leves é considerada a mesma dos automóveis.

4.3.4.3. Caminhões

A quilometragem média anual percorrida pelos caminhões é considerada constante. O aumento desse valor pode ser consequência, entre outras, de ações efetivas de interiorização que indiquem uma mudança expressiva na distribuição geográfica parque industrial ou novos caminhos de escoamento da produção agrícola. A influência de ações de incentivo ao balanceamento intermodal é expressa no indicador frota.

4.3.4.4. Ônibus, Microônibus e Motos

O valor de quilometragem média anual para ônibus, microônibus e motos é considerada constante.

4.4. Descrição dos Procedimentos Metodológicos para Emissões

A quantificação das emissões dos principais gases de efeito estufa, foi feita com base nos procedimentos metodológicos elaborados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC e publicados nas Diretrizes de 1996 (*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*), complementadas com as Diretrizes de 2006 (*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*), sempre que mantidos os conceitos e métodos⁴.

A escolha pelas orientações do IPCC deve-se ao fato dessa ser a fonte de maior credibilidade e referência mundial.

A priorização pelas Diretrizes de 1996 do IPCC e não as publicações mais atuais (Diretrizes de 2006) se deve ao fato desta última ainda não ter sido aprovada pela CQNUMC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas).

4.4.1. Mecanismos Top-down e Bottom-up

Segundo o IPCC (*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*), existem dois métodos que permitem estimar as emissões de GEE, sendo estes o *top-down* e o *bottom-up*.

A principal diferença entre os mecanismos refere-se ao nível de agregação dos dados disponíveis. Segundo Mattos (2001), o método *top-down*, também conhecido como abordagem

⁴ Na elaboração do presente estudo, foram consideradas tanto as Diretrizes de 1996 quanto as de 2006. Todavia, não foram consideradas as mudanças apresentadas nessa última versão do relatório do IPCC, mantendo-se, dessa forma, todos os conceitos e premissas apresentados nas Diretrizes de 1996.

de referência, leva em conta apenas as emissões de dióxido de carbono (CO₂) a partir dos dados de produção e consumo de energia, sem detalhamento de como essa energia é consumida. Já a metodologia *bottom-up* leva em conta as emissões de todos os gases, inclusive o CO₂ e, neste caso, as emissões são quantificadas levando-se em consideração o tipo de equipamento empregado na utilização dos combustíveis e seus respectivos rendimentos.

Quanto ao grau de agregação dos dados, esse reflete diretamente na confiança dos mesmos. Enquanto a metodologia *top-down* se baseia em uma grande quantidade de informações sobre suprimento de combustíveis, a metodologia *bottom-up* necessita de informações detalhadas sobre tecnologia de queima e controle de emissões, que muitas vezes não estão disponíveis. Ambas as metodologias foram desenvolvidas pelo IPCC (1996) e apresentadas nas "Diretrizes para inventários nacionais de gases de efeito estufa", oficialmente adotadas pela Convenção do Clima para a elaboração das Comunicações Nacionais dos países signatários da convenção, inclusive o Brasil.

Ressalta-se que, neste estudo, selecionou-se o método *bottom-up* para cálculo das estimativas de emissões dos principais gases de efeito estufa. Tal definição corrobora com o método adotado pela Comunicação Nacional, no desenvolvimento do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, onde, inclusive, é citada a recomendação do IPCC quanto ao uso de métodos que considerem de níveis mais desagregados nos cálculos das estimativas de emissões de CO₂ e dos gases não-CO₂.

4.4.1.1. O Método “*Bottom-up*”

Ainda segundo Mattos, “o método *bottom-up* permite a identificação e quantificação das emissões dos gases de efeito estufa separadamente, o que facilita o estudo de políticas e projetos para a redução dessas emissões.”

Nessa abordagem, as fontes de emissão categorizadas como atividades de combustão são divididas em fontes fixas (ou estacionárias) e fontes móveis, e são desenvolvidos fatores de emissão típicos para as respectivas fontes, ou seja, mais representativos que os fatores de emissão desenvolvidos para o método *top-down*, além de serem utilizadas fórmulas simples nos cálculos de emissões.

No entanto, esses fatores variam entre os países e em função das tecnologias de queima dos combustíveis, necessitando de informações amostrais e conhecimentos de engenharia de tais tecnologias para sua elaboração. Vale ressaltar que foram considerados, neste estudo, os fatores de emissão padrões do IPCC (Nível 1 - abordagem *bottom-up*), uma vez que há grandes dificuldades para se obter informações detalhadas, tanto qualitativa quanto quantitativamente, a um nível que permita a construção desses fatores de modo que representem a realidade paulista.

No *Guideline* de 1996 do IPCC, a abordagem metodológica mais comumente aplicada considera o agrupamento dos dados de atividade (DA), na medida em que a atividade humana ocorre, com os coeficientes que quantificam as emissões ou remoções, por unidade de atividade (fatores de emissão - FE). Dessa forma, a equação básica considerada é definida como:

$$Emissões = DA \times FE$$

No Setor da Energia, o consumo de combustível refere-se aos dados de atividade e a massa do gás de efeito estufa emitida por unidade de combustível consumido representa um fator de emissão. O procedimento para aplicação do método segue os seguintes passos:

- Determinar a quantidade de energia consumida (em TJ), por tipo de combustível, para cada setor e subsetor.
- Multiplicar a quantidade de energia consumida pelo fator de emissão específico de cada combustível, para cada setor e subsetor, que deve ser dado em t/TJ.

Como resultados têm-se as emissões propriamente ditas, em toneladas (t).

Como exemplo, podem-se citar as estimativas das fontes móveis de emissão (transportes), em que as emissões de um determinado gás são dadas pela multiplicação do fator de emissão deste pela quantidade de energia consumida ou pela distância percorrida.

Em alguns casos, em outros setores que não o Setor de Energia, a equação básica pode ser alterada para incorporar outros parâmetros de diferentes estimativas dos fatores de emissão, como, por exemplo, nos casos em que há atrasos temporários devido ao período no qual um material leva para se decompor em um aterro, ou um gás demora para ser totalmente emitido a partir de dispositivos de refrigeração, casos estes onde são considerados outros métodos, como a decomposição de primeira ordem.

Como será visto adiante, os resultados das estimativas de emissões foram dados em duas unidades distintas, sendo estas: toneladas (t) de cada gás de efeito estufa e toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂eq.). Para o cálculo destas últimas, adotou-se a seguinte equação:

$$tCO_2eq = t(gás) \times GWP(gás)$$

O GWP (*Global Warming Power* ou Potencial de Aquecimento Global) baseia-se na relativa importância dos gases de efeito estufa, em relação ao dióxido de carbono, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um impulso de emissão (MCT, 2004). Dessa forma, o GWP do dióxido de carbono é sempre igual a 1. Já para o metano e para o óxido nítrico, considerando o horizonte de tempo de 100 anos, os GWP são: 21 e 310, respectivamente. Isso significa que o metano absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO₂ e que o óxido nítrico absorve cerca de 310 vezes mais. Uma vez que não são estabelecidos os GWPs dos gases indiretos (CO, NO_x e NMVOC), esses não são contabilizados nos resultados apresentados em CO₂ equivalentes

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O estudo de caso selecionado para aplicação da metodologia foi o estado de São Paulo. O cenário de projeção foi o ano de 2035 tendo por ano base 2005. A seguir descreve-se as premissas assumidas para esta aplicação em particular.

5.1. Premissas e Considerações Iniciais do Estudo de Caso

5.1.1. Fonte de dados

Para o levantamento de dados históricos relativos à frota de veículos foram considerados os dados de venda de veículos disponibilizados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea, 2009).

5.1.2. Projeção

Tendo em vista a premissa estabelecida para projeção da frota total de automóveis, a Tabela 3 apresenta a projeção do índice de crescimento do PIB para o estado de São Paulo para o cenário estabelecido conforme o estudo da Matriz SP (2010).

Tabela 3 - Projeção do índice de crescimento do PIB do estado de São Paulo (%).
(Matriz SP 2035)

2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
3,54	4,32	3,39	3,38	3,31	3,20	2,90

Aplicando os índices da Tabela 3, foi projetada a frota total de automóveis para o estado de São Paulo mostrada na figura a seguir (Fonte de dados vide Anexo, Tabela 39).

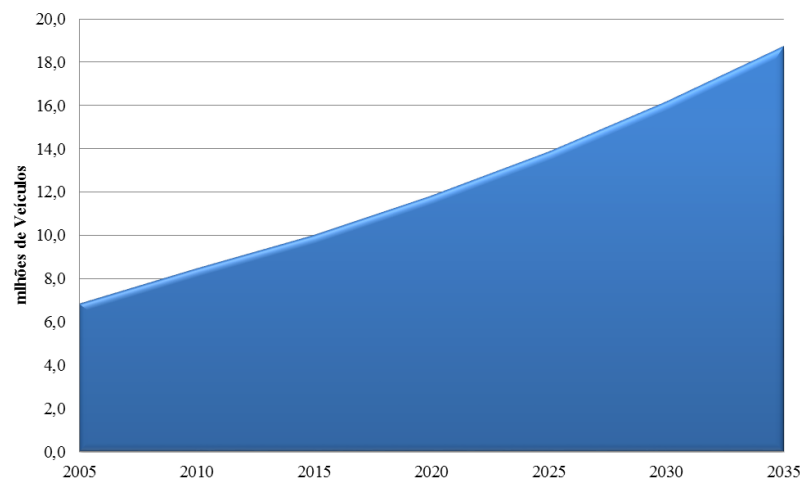


Figura 20 - Projeção da frota total de automóveis do estado de São Paulo.

As frotas de caminhões e ônibus foram construídas a partir de uma abordagem indireta, com o objetivo de manter a consistência em relação às projeções das demais variáveis envolvidas no estudo. A frota de caminhões foi obtida a partir da evolução da demanda de carga rodoviária, e da capacidade média de carga da frota. Maior demanda por transporte rodoviário gera frotas proporcionalmente maiores, assim como um aumento da capacidade média de caminhões reduz a necessidade do número de caminhões em circulação.

A frota de ônibus foi projetada a partir da evolução do número de passageiros transportados, admitindo-se que a capacidade média de transporte dos ônibus permanecerá estável no horizonte de interesse.⁵

As projeções obtidas foram então, utilizadas para calibrar os parâmetros de evolução ano a ano do modelo técnico de projeção.

No tocante a automóveis movidos a GNV, considerou-se que:

⁵ Nota: comparações internacionais são dificultadas por questões de preferências e outros fatores. Por exemplo, a renda *per capita* da Polônia é de cerca de 45% da Dinamarca e, apesar disso, as frotas de automóveis são parecidas nos dois países (fontes: Banco Mundial e FMI). De qualquer forma, a frota *per capita* de São Paulo projetada para o ano de 2035 está no mesmo patamar destes países. A renda *per capita* projetada (critério PPP) para 2035 está entre a dos dois países (atualmente entre USD 18 mil e USD 35 mil).

- A parcela destes veículos que sai de fábrica com esta tecnologia é desprezível diante do conjunto total;
- Como os veículos movidos a GNV adquirem este status a partir da conversão de outro tipo combustível, considerou-se que todos os veículos GNV foram convertidos a partir de veículos movidos originalmente a outro combustível, logo a frota de veículos GNV foi descontada da frota de veículos flex.

Neste estudo considerou-se o nível de ocupação constante em todos os anos e com valor igual a 1,5 pessoas por veículo.

Os dados de referência para a quilometragem anual média percorrida pelos automóveis foram fornecidos por Cetesb (2009).

5.1.3. Parâmetros da Curva de Sucateamento

Os valores para os parâmetros a e b da Curva de Gompertz foram levantados a partir da calibração dos dados históricos da Anfavea (2009) e são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros a e b da Curva de Gompertz.

Categoria	Parâmetros	
	a	b
Automóveis	1,870	0,125
Comerciais Leves	2,300	0,200
Caminhões	2,000	0,100
Ônibus	3,000	0,100
Microônibus	3,000	0,100

5.2. Cálculo de Consumo e Emissões

A metodologia apresentada tem por objetivo obter as projeções para cada indicador. A importância, bem como a utilidade destas projeções, está no fato de que elas serão utilizadas para o cálculo do consumo de energia e das emissões associadas ao modal rodoviário. A seguir apresenta-se a forma como serão calculados o consumo de energia e as emissões.

5.2.1. Cálculo do Consumo de Energia

O cálculo do consumo de energia é feito de forma direta a partir da seguinte expressão⁶:

$$DME_i^c(t) = [(QMP_i^c(t)/DEG_i^c(t)) * F_i^c(t)] * PCI_i \quad (19)$$

Onde:

$DME_i^c(t)$ é o consumo de energia da frota de veículos tipo i com combustível c no ano t

$QMP_i^c(t)$ é a quilometragem média anual percorrida pela frota de veículos tipo i com combustível c no ano t

$DEG_i^c(t)$ é o desempenho energético global ponderado da frota de veículos tipo i com combustível c no ano t

$F_i^c(t)$ é a frota de automóveis tipo i com combustível c no ano t

PCI_i é o poder calorífico do combustível i ⁷

A Tabela 5 mostra as condições consideradas neste estudo para os parâmetros i e c .

⁶ É importante salientar que, independente do combustível, esta fórmula não leva em conta as variações de eficiência associadas à mudança de combustíveis, que dependem da adoção de motores diferenciados. Esta observação é pertinente aos veículos flex que utilizam dois tipos de combustível em um mesmo motor.

⁷ PCI (Poder Calorífico Inferior) é a quantidade de calor que pode produzir 1kg de combustível, quando este entra em combustão e representa o calor liberado pela combustão estando toda a água resultante no estado gasoso.

Tabela 5 – Parâmetros i e c .

i	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus	Microônibus	Motos
c	Gasolina	Gasolina	Etanol	Etanol	Diesel	Gasolina
	Etanol	Etanol	Diesel	Diesel	Biodiesel	Flex
	Flex	Flex	Biodiesel	Biodiesel		
	GNV	Diesel				
	Eletricidade	Biodiesel				

Os valores de conteúdo energético⁸ adotados para cada combustível está mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Conteúdo energético dos combustíveis. (EPE, 2012)

	Valor	Unidade
Gasolina	0,0090	MWh/L
Etanol Hidratado	0,0059	MWh/L
Etanol Anidro	0,0062	MWh/L
GNV	0,0086	MWh/m ³
Diesel	0,0159	MWh/L
Biodiesel	0,092	MWh/L

5.2.2. Cálculo das Emissões

O cálculo das emissões é feito a partir da metodologia *bottom-up* estabelecida pelo IPCC conforme expressão a seguir.

$$Emissões_i^c(t) = DME_i^c(t) * FE_c \quad (20)$$

Onde:

$Emissões_i^c(t)$ são as emissões da frota de veículos tipo i com combustível c no ano t

$DME_i^c(t)$ é o consumo de energia da frota de veículos tipo i com combustível c no ano t

FE_c é o fator de emissão relacionado ao combustível c

⁸ O conteúdo energético dos combustíveis foi obtido a partir do valor do PCI e da densidade de cada um deles.

Os fatores de emissão adotados estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Fatores de emissão.

	tCO ₂ /TJ
Gasolina	68,56
GNV	55,78
Diesel	72,55
Biodiesel	72,55

Eletricidade e etanol foram considerados com fator de emissão nulos.

Ainda da metodologia do IPCC:

$$tCO_2eq = Emissões_i^c(t) \times GWP$$

Sendo que o *GWP* do CO₂ é igual a 1.

5.3. Cenários e Projeções

Para o estudo proposto neste trabalho foram definidos 4 cenários de análise e 1 cenário teórico. A seguir descrevem-se as características de cada cenário.

- Cenário Base: Frota de automóveis sem carros elétricos
- Cenário 1: Frota de automóveis com 10% de carros elétricos
- Cenário 2: Frota de automóveis com 30% de carros elétricos
- Cenário 3: Frota de automóveis com 60% de carros elétricos
- Cenário Compulsório: Frota de automóveis com 100% de carros elétricos. Esta condição trata-se de um cenário puramente teórico visando estabelecer um valor máximo para efeito de comparações.

Os valores dos cenários foram escolhidos de forma que se relacionassem entre si pela proporcionalidade, ou seja, o Cenário 2 é três vezes maior que o Cenário 1 e o Cenário 3 é o dobro do Cenário 2.

Com base em EPE (2013), definiu-se o percentual da frota de automóveis *flex* que utilizam etanol e gasolina. Este percentual foi utilizado em todos os cenários. Foi definida a frota de automóveis *flex* com 30% de veículos utilizando etanol e 70% da frota utilizando gasolina.

Nas projeções, considerou-se a entrada dos carros elétricos na frota de automóveis a partir do ano de 2015 até atingir o patamar de cada cenário no ano de 2035, conforme Figura 21.

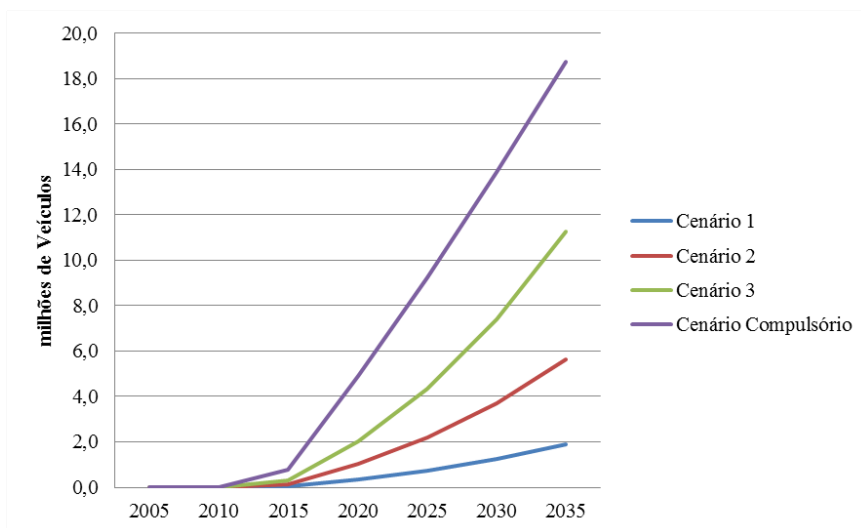


Figura 21 – Projeções das frotas de VEs

Para o horizonte de 2035 considerou-se um cenário de melhoria no desempenho energético, como uma consequência de avanços tecnológicos dos veículos (Tabela 8). As porcentagens constantes nesta tabela referem-se ao desempenho estimado para 2035 em referência ao ano base.

Tabela 8 - Projeções de melhoria para o desempenho energético

Modal Rodoviário	%
Diesel	3,0
Gasolina e Etanol	15,0
Elétrico	15,0

Definidos os cenários foram feitas as projeções da frota por tipo de combustível para cada um deles. A seguir apresenta-se as tabelas com as referidas projeções.

5.3.1. Cenário Base

A Figura 22 apresenta a projeção da frota de automóveis para o Cenário Base. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 40)

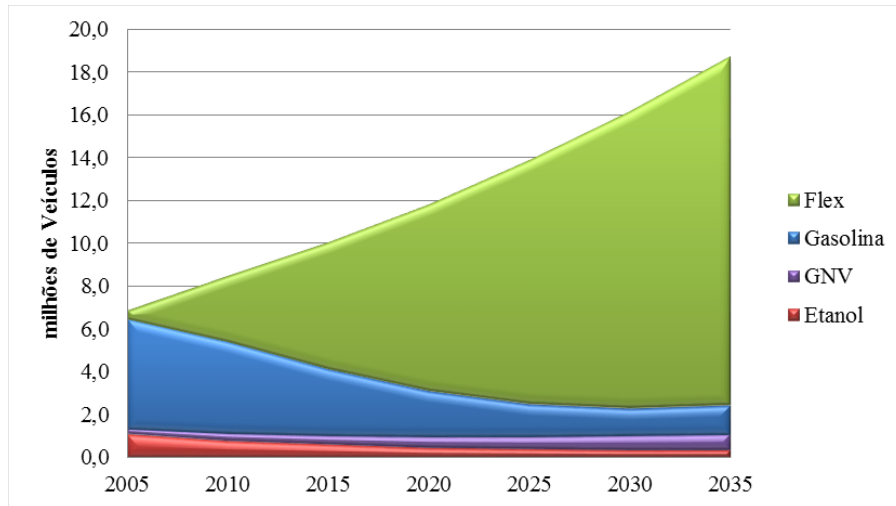


Figura 22 - Projeção da frota de automóveis sem carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

5.3.2. Cenário 1

A Figura 23 apresenta a projeção da frota de automóveis para o Cenário 1 com os carros elétricos compondo 10% da frota de automóveis. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 41)

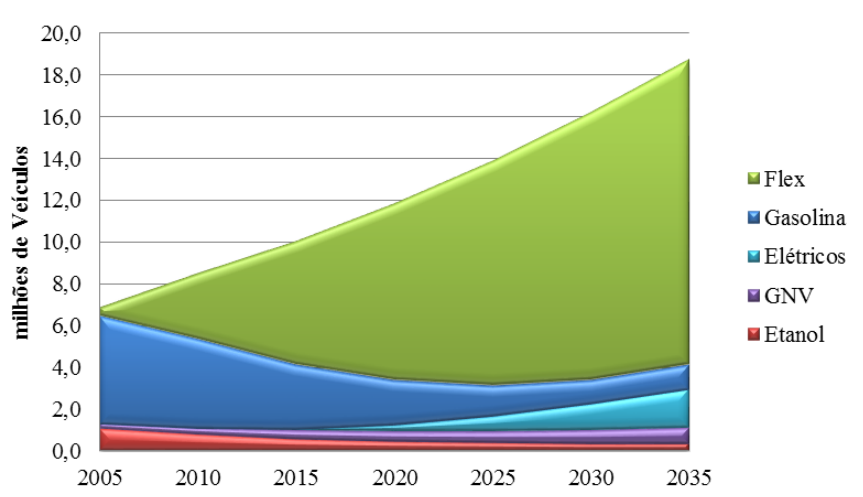


Figura 23 - Projeção da frota de automóveis com 10% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

5.3.3. Cenário 2

A Figura 24 apresenta a projeção da frota de automóveis para o Cenário 2 com os carros elétricos compondo 30% da frota de automóveis. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 42)

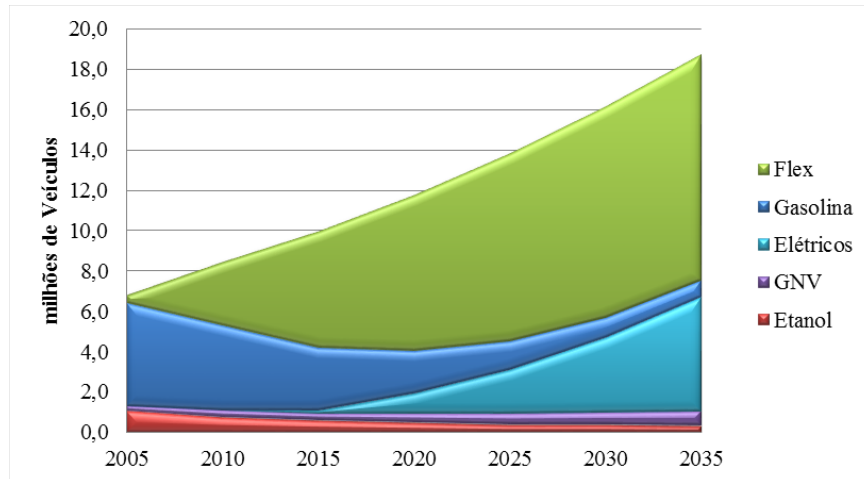


Figura 24 - Projeção da frota de automóveis com 30% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

5.3.4. Cenário 3

A Figura 25 apresenta a projeção da frota de automóveis para o Cenário 2 com os carros elétricos compondo 60% da frota de automóveis. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 43)

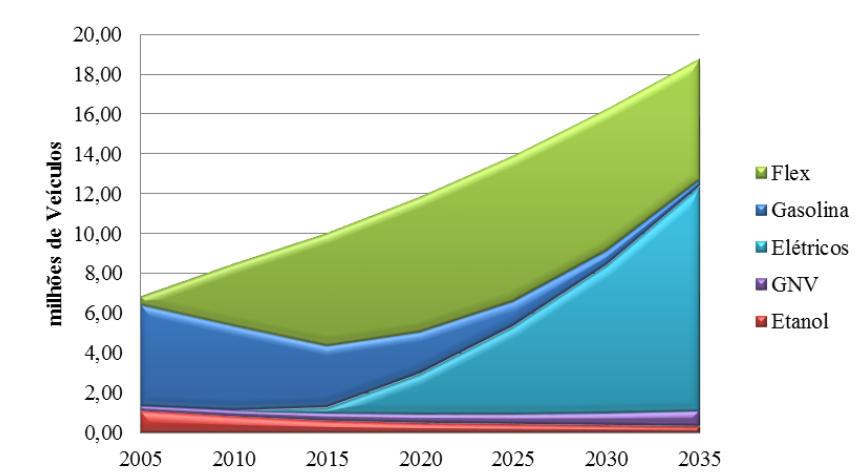


Figura 25 - Projeção da frota de automóveis com 60% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

5.3.5. Cenário Compulsório

A Figura 26 apresenta a projeção da frota de automóveis para o Cenário Compulsório com os carros elétricos compondo 100% da frota de automóveis em 2035. Esta proposta trata-se de um cenário teórico visando estabelecer um valor máximo para efeito de comparações. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 44)

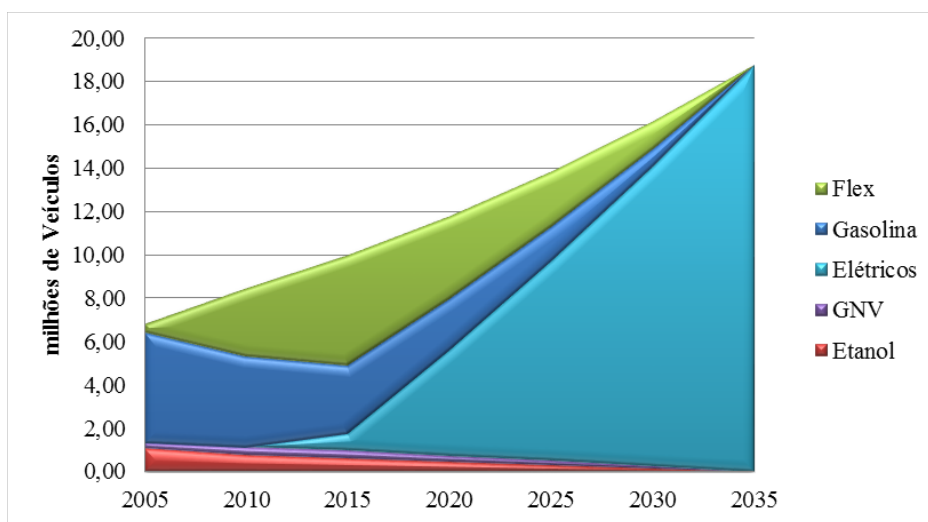


Figura 26 - Projeção da frota de automóveis com 100% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

5.4. Resultados

De posse das projeções e premissas calculou-se para cada os valores em termos de consumo de energia e emissões. A seguir apresenta-se os resultados obtidos.

5.4.1. Cenário Base

No Cenário Base, projetou-se a frota de automóveis sem a presença dos carros elétricos. Estruturalmente o modal rodoviário é subdividido em transporte de carga e passageiros. O transporte de passageiros, por sua vez, é dividido em transporte individual e coletivo. Os automóveis são uma subdivisão do transporte individual que conta ainda com motos e

comerciais leves. A Figura 27 apresenta a projeção do consumo de energia para os automóveis no Cenário Base, por tipo de combustível para 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 45)

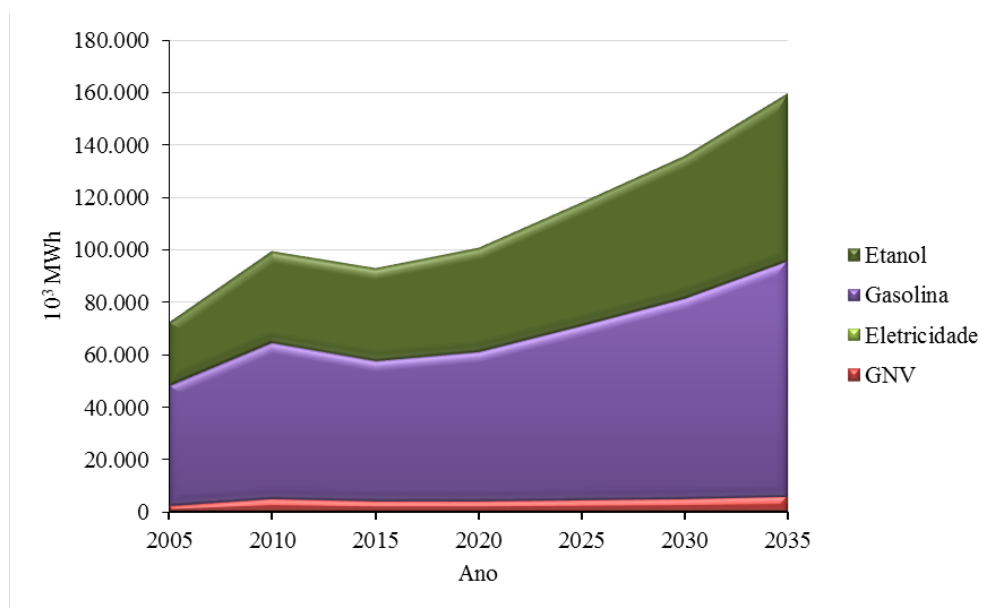


Figura 27 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível no Cenário Base

A Figura 28 mostra a estimativa das emissões globais associadas ao modal rodoviário e particularmente os automóveis no Cenário Base até o ano 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 46)

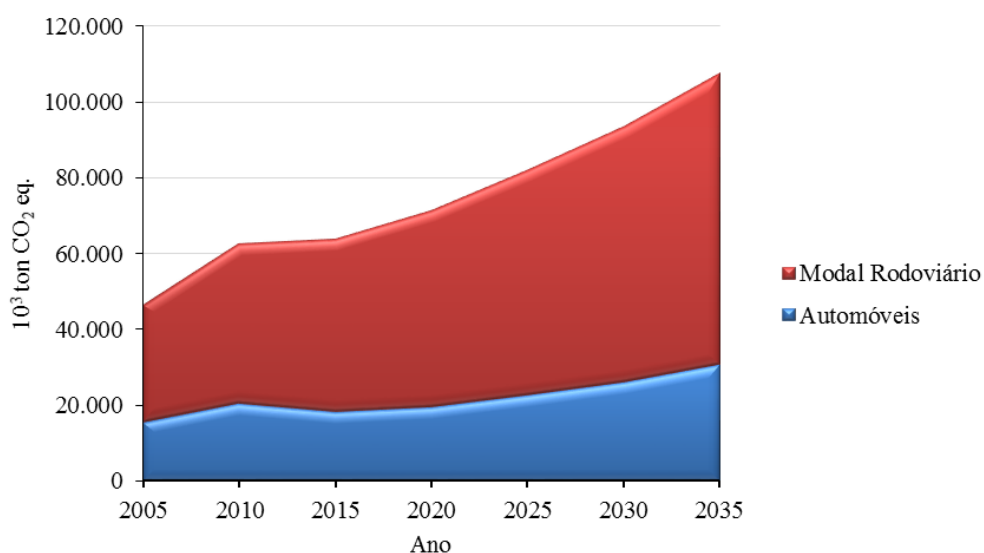


Figura 28 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário Base

5.4.2. Cenário 1

No Cenário 1, projetou-se a frota de automóveis composta por 10% de carros elétricos. A Figura 29 apresenta a projeção do consumo de energia para os automóveis no Cenário 1, por tipo de combustível para 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 47)

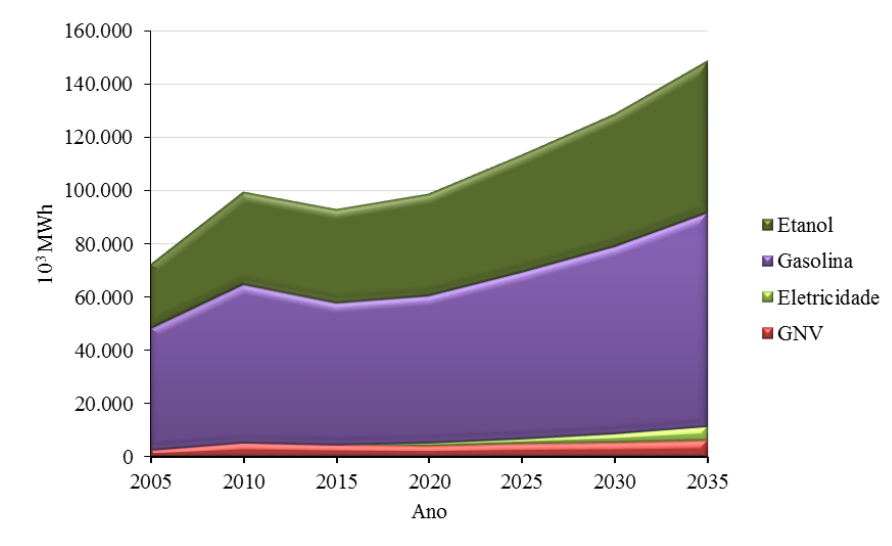


Figura 29 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível no Cenário 1

A Figura 30 mostra a estimativa das emissões globais associadas ao modal rodoviário e particularmente os automóveis no Cenário 1 até o ano 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 48)

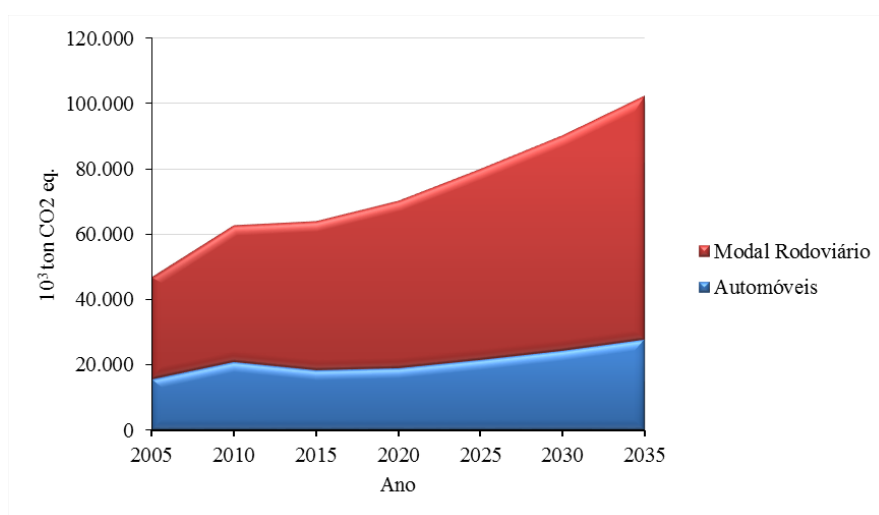


Figura 30 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 1

5.4.3. Cenário 2

No Cenário 2, projetou-se a frota de automóveis composta por 30% de carros elétricos. A Figura 31 apresenta a projeção do consumo de energia para os automóveis no Cenário 2, por tipo de combustível para 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 49)

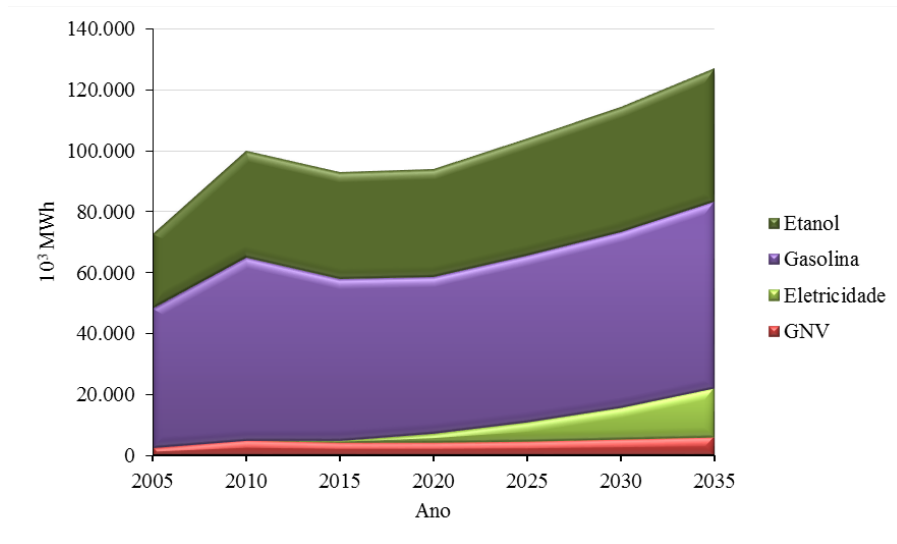


Figura 31 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível no Cenário 2

A Figura 32 mostra a estimativa das emissões globais associadas ao modal rodoviário e particularmente os automóveis no Cenário 2 até o ano 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 50)

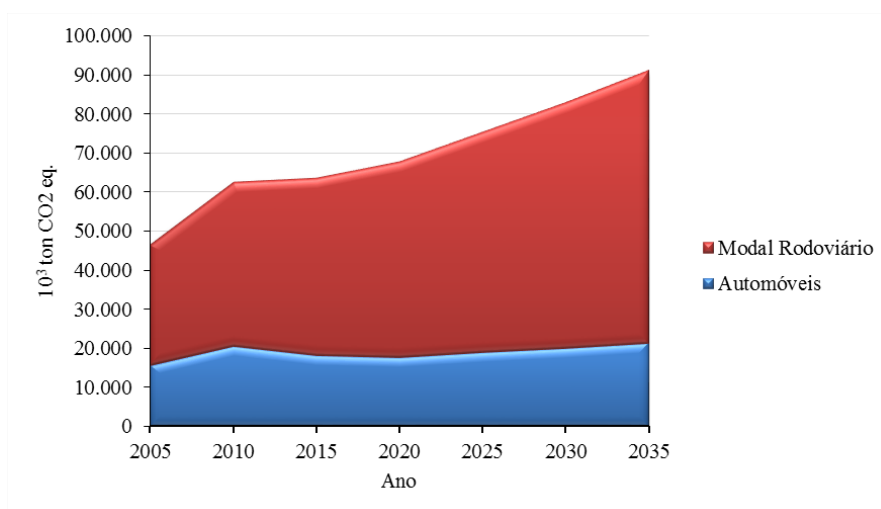


Figura 32 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 2

5.4.4. Cenário 3

No Cenário 3, projetou-se a frota de automóveis composta por 50% de carros elétricos. A Figura 33 apresenta a projeção do consumo de energia para os automóveis no Cenário 3, por tipo de combustível para 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 51)

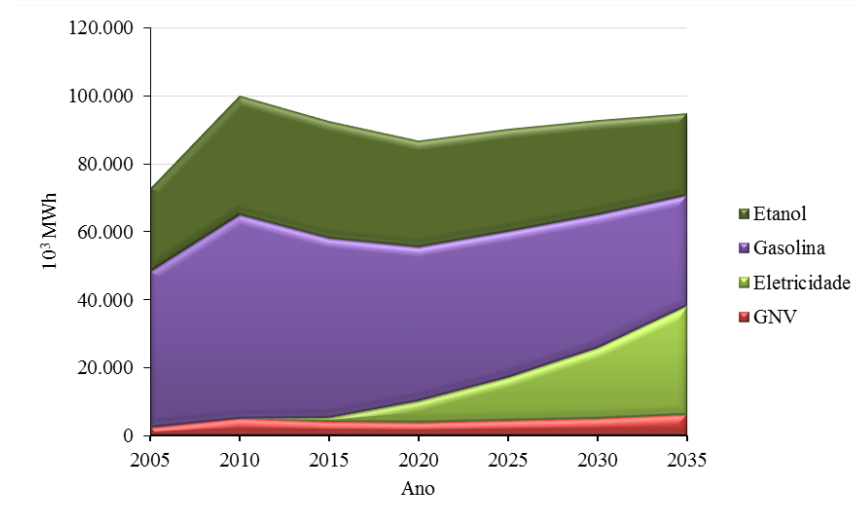


Figura 33 - Projeção do consumo de energia para automóveis, por combustível no Cenário 3

A Figura 34 mostra a estimativa das emissões globais associadas ao modal rodoviário e particularmente os automóveis no Cenário 3 até o ano 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 52)

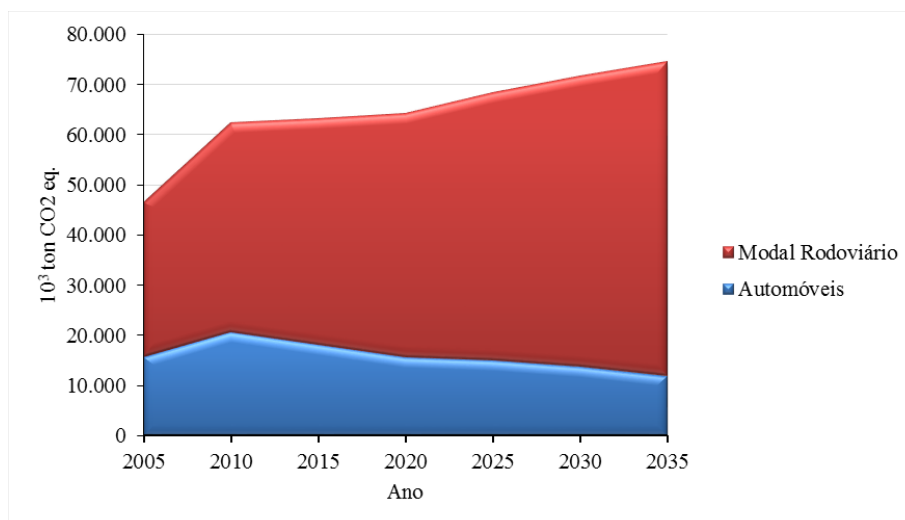


Figura 34 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 3

5.4.5. Cenário Compulsório

No Cenário Compulsório, projetou-se a frota de automóveis composta por 100% de carros elétricos. Como já esclarecido anteriormente, este é um cenário puramente teórico, que tem como objetivo estimar os valores máximos de redução de emissões que poderiam ser alcançados alterando-se a composição da frota.

Neste cenário, teríamos em 2035 zero de emissões da frota de automóveis, porque só haveriam carros elétricos e a eletricidade seria o único "combustível" responsável pelo consumo total de energia.

A Figura 35 apresenta a projeção do consumo de energia para os automóveis no Cenário 3, por tipo de combustível para 2035. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 53)

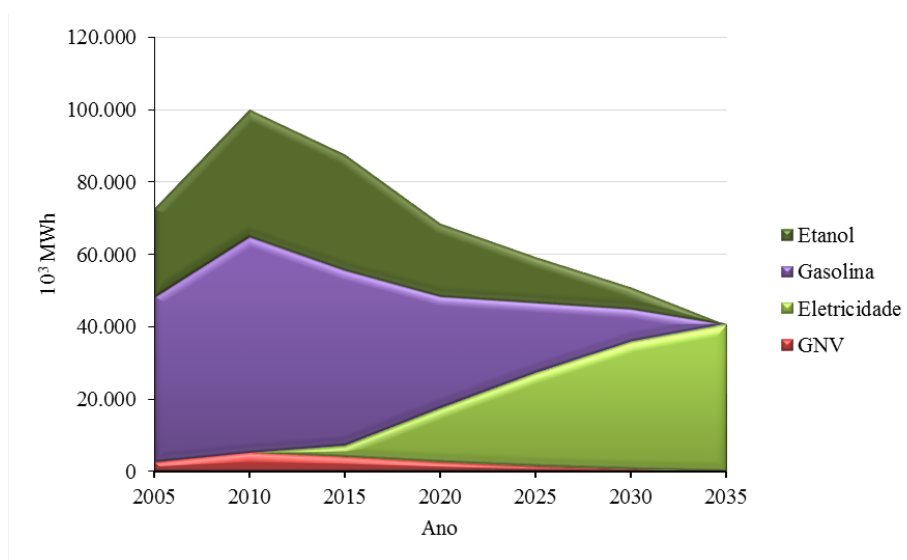


Figura 35 - Projeção do consumo de energia para automóveis, por combustível no Cenário Compulsório

5.5. Análise Comparativa

Tendo em vista os resultados obtidos para cada cenário, a seguir faz-se uma comparação entre os mesmos sob o ponto de vista energético e de emissões.

5.5.1. Modal Rodoviário

A Figura 36 apresenta os resultados das projeções, em termos de consumo de energia, para o modal rodoviário em cada cenário. Lembrando que o modal rodoviário compreende veículos leves (automóveis e comerciais), caminhões (semileves, leves, médios, semipesados e pesados), ônibus (ônibus e micro-ônibus) e motos. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 54)

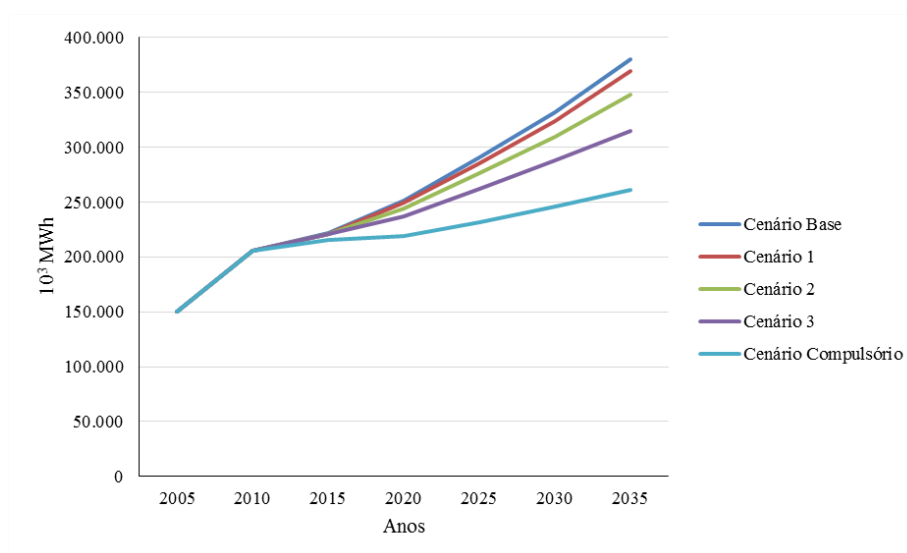


Figura 36 - Projeção do consumo de energia para o modal rodoviário.

Nota-se que o consumo de energia diminui à medida que a porcentagem de carros elétricos aumenta, ainda que a frota permaneça a mesma. Esta condição será constatada em todos os comparativos de consumo e explica-se pelo fato de que, do ponto de vista energético, o carro elétrico é muito superior em termos de eficiência aos carros movidos a gasolina e etanol. Não é difícil comprovarmos isso já que, 1 litro de gasolina equivale, em termos de energia, a 8,9 kWh e 1 litro de etanol equivale a 6,5 kWh. Para exemplificar, suponha que um carro elétrico percorra 5 km/kWh. Isto equivale em termos energéticos a 44,5 km/l de gasolina e 32,5

km/l de etanol. Ou seja, com a mesma quantidade de energia o carro elétrico percorre uma distância bem maior que os carros movidos a gasolina e etanol, ou, se preferir, para distâncias iguais o carro elétrico consome menos energia que os outros veículos. É importante salientar que esta afirmação é relevante do ponto de vista de uma abordagem local.

Do ponto de vista global, outras considerações devem ser feitas. As figuras a seguir mostram os fluxos de energia mensurando os impactos que estão envolvidos nos processos de conversão de energia pertinentes aos carros elétricos, tendo em conta as fontes hidráulica e térmica. Os números representam unidades de energia.

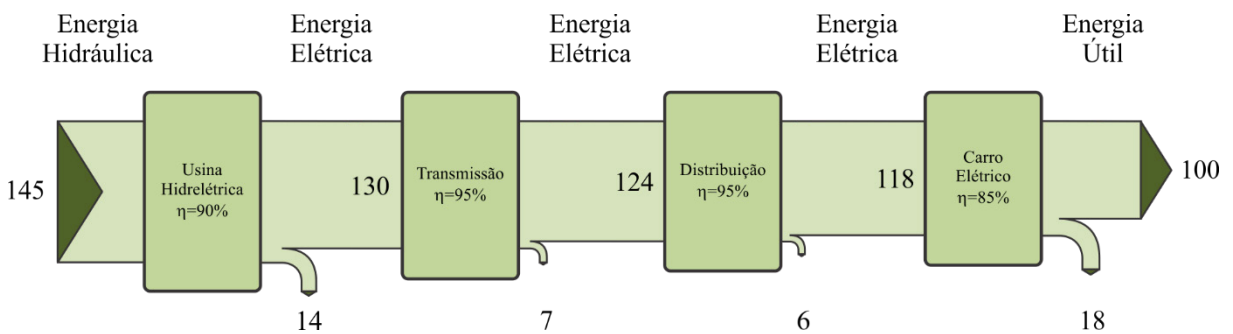


Figura 37 - Veículo elétrico abastecido com energia proveniente de centrais hidrelétricas.

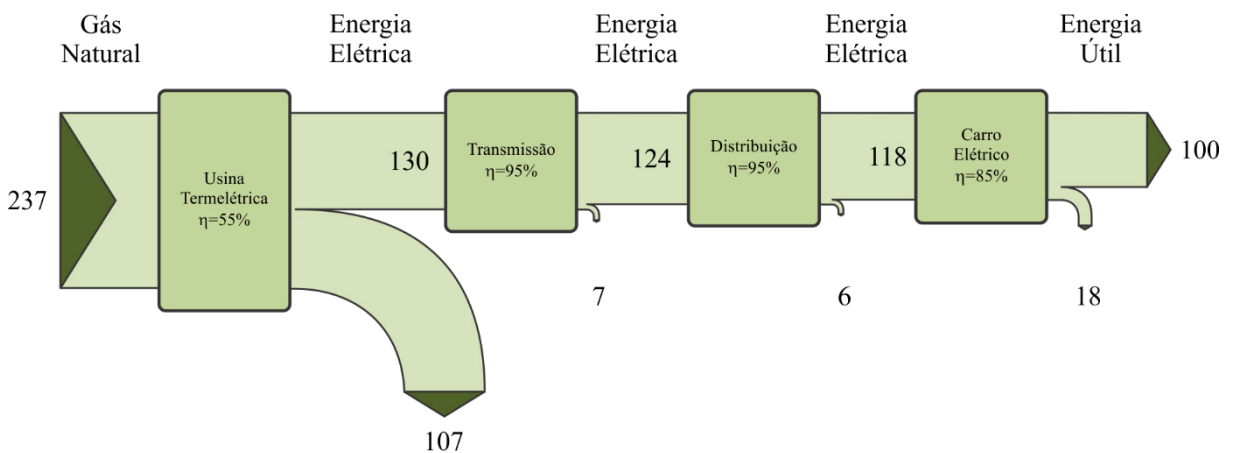


Figura 38 - Veículo elétrico abastecido com energia proveniente de centrais termelétricas a gás natural.

Outro aspecto que deve ser considerado é a análise do ciclo de vida da energia. De acordo com Hu et. alli. (2004), a avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método para definir e reduzir os encargos ambientais de um produto, processo ou atividade através da identificação e

quantificação da energia e uso de materiais e descargas de resíduos, avaliar o impacto dos resíduos sobre o meio ambiente e avaliação de oportunidades de melhorias ambientais ao longo de todo o ciclo de vida. Embora esta análise não seja feita neste trabalho, é necessário reconhecer a sua importância e pertinência, ao abordar o tema de uma perspectiva mais ampla.

A Tabela 9 apresenta a projeção do consumo energético para o modal rodoviário.

Tabela 9 - Projeção do consumo de eletricidade para o modal rodoviário. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário Base	149.736	205.757	221.374	251.609	290.251	331.457	380.070
Cenário 1	149.736	205.757	221.220	249.173	285.593	324.183	369.214
Cenário 2	149.736	205.757	220.914	244.280	276.264	309.640	347.498
Cenário 3	149.736	205.757	220.462	236.880	262.229	287.850	314.914
Cenário Compulsório	149.736	205.757	215.417	218.693	231.295	246.187	261.009

A Tabela 10 apresenta os percentuais de redução do consumo de energia no modal rodoviário em comparação com o Cenário Base.

Tabela 10 - Redução no consumo de energia no modal rodoviário em relação ao Cenário Base em termos percentuais.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0,0%	0,0%	0,1%	1,0%	1,6%	2,2%	2,9%
Cenário 2	0,0%	0,0%	0,2%	2,9%	4,8%	6,6%	8,6%
Cenário 3	0,0%	0,0%	0,4%	5,9%	9,7%	13,2%	17,1%
Cenário Compulsório	0,0%	0,0%	2,7%	13,1%	20,3%	25,7%	31,3%

Como os automóveis são responsáveis por todo o consumo de eletricidade para o modal rodoviário, os valores para o modal e para os automóveis, no que diz respeito ao consumo de eletricidade, serão os mesmos. Por essa razão a comparação para o consumo de eletricidade será apresentada no item seguinte onde será apresentada a comparação para os automóveis.

A Tabela 11 compara as projeções das emissões associadas ao modal rodoviário para cada cenário e a Tabela 12 apresenta a redução percentual das emissões de cada cenário quando comparadas ao Cenário Base.

Tabela 11 - Projeção das emissões associadas ao modal rodoviário. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário Base	30.978	41.862	45.427	51.650	59.194	67.329	76.857
Cenário 1	30.978	41.862	45.380	51.150	58.217	65.771	74.501
Cenário 2	30.978	41.862	45.286	50.151	56.268	62.662	69.786
Cenário 3	30.978	41.862	45.145	48.657	53.365	58.021	62.709
Cenário Compulsório	30.978	41.862	44.153	44.776	46.965	49.832	53.439

Tabela 12 - Redução percentual das emissões associadas ao modal rodoviário em comparação com o Cenário Base.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0,0%	0,0%	0,1%	1,0%	1,7%	2,3%	3,1%
Cenário 2	0,0%	0,0%	0,3%	2,9%	4,9%	6,9%	9,2%
Cenário 3	0,0%	0,0%	0,6%	5,8%	9,8%	13,8%	18,4%
Cenário Compulsório	0,0%	0,0%	2,8%	13,3%	20,7%	26,0%	30,5%

5.5.2. Automóveis

A Figura 39 apresenta as projeções para o consumo de energia de cada cenário para os automóveis. (Fonte de dados vide Anexo 1,

Tabela 55)

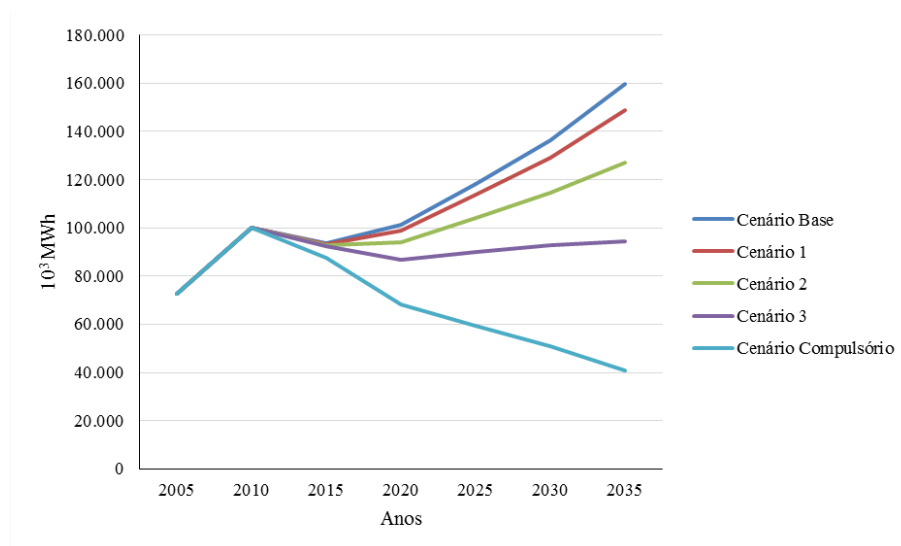


Figura 39 - Projeção do consumo de energia para os automóveis

Como anteriormente destacado, nota-se que o consumo de energia diminui à medida que a percentagem de carros elétricos na frota aumenta. No caso dos automóveis, esta redução é mais acentuada pois é o setor onde os carros elétricos afetam mais diretamente. A Tabela 14 mostra, em termos percentuais, a redução do consumo de energia na frota de automóveis em comparação com o Cenário Base.

Tabela 13 - Projeção do consumo de eletricidade para os automóveis. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário Base	72.510	99.880	93.383	101.305	118.163	136.202	159.700
Cenário 1	72.510	99.880	93.229	98.868	113.505	128.927	148.844
Cenário 2	72.510	99.880	92.923	93.976	104.176	114.385	127.129
Cenário 3	72.510	99.880	92.470	86.576	90.142	92.594	94.545
Cenário Compulsório	72.510	99.880	87.426	68.388	59.208	50.931	40.639

Tabela 14 - Redução percentual do consumo de energia para automóveis em comparação com o Cenário Base.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0,0%	0,0%	0,2%	2,4%	3,9%	5,3%	6,8%
Cenário 2	0,0%	0,0%	0,5%	7,2%	11,8%	16,0%	20,4%
Cenário 3	0,0%	0,0%	1,0%	14,5%	23,7%	32,0%	40,8%
Cenário Compulsório	0,0%	0,0%	6,4%	32,5%	49,9%	62,6%	74,6%

Com relação ao consumo de eletricidade relativa à frota de automóveis, as projeções para cada cenário podem ser vistas na Tabela 15.

Tabela 15 - Projeção do consumo de eletricidade para automóveis. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0	0	180	1.054	2.135	3.485	5.312
Cenário 2	0	0	544	3.130	6.347	10.412	15.946
Cenário 3	0	0	1.097	6.148	12.480	20.667	31.932
Cenário Compulsório	0	0	2.993	15.099	25.834	35.085	40.639

As projeções das emissões associadas à frota de automóveis estão mostradas na Figura 40 e ilustradas pela. (Fonte de dados vide Anexo 1, Tabela 56)

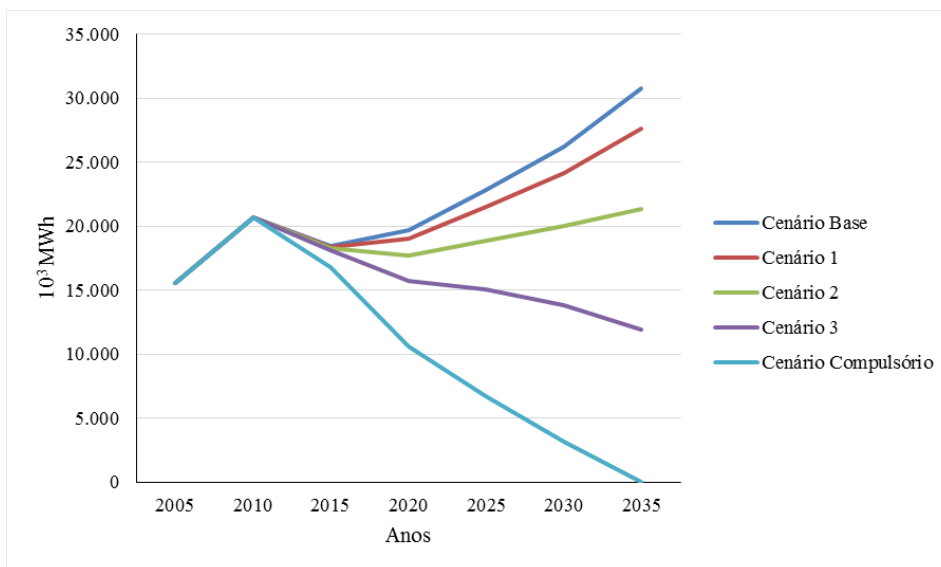


Figura 40 - Projeção das emissões associadas aos automóveis.

Em termos percentuais, pode ser visto na Tabela 16 a redução das emissões em comparação ao Cenário Base.

Tabela 16 - Redução percentual das emissões associadas aos automóveis em comparação ao Cenário Base.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0,0%	0,0%	0,3%	3,4%	5,7%	7,9%	10,2%
Cenário 2	0,0%	0,0%	1,0%	10,1%	17,1%	23,7%	30,6%
Cenário 3	0,0%	0,0%	2,1%	20,2%	34,0%	47,3%	61,2%
Cenário Compulsório	0,0%	0,0%	9,1%	45,9%	70,5%	87,8%	100,0%

5.5.3. Comparação entre o Modal Rodoviário e os Automóveis

As tabelas a seguir comparam as projeções de consumo de energia e emissões entre o Setor de Transportes, o Modal Rodoviário e os Automóveis. Para esta comparação escolheu-se o ano de 2035 por ser este, o ano em que a influência da inserção dos carros na frota alcança o seu ápice.

Tabela 17 - Comparação do valor de consumo de energia entre o modal rodoviário e automóveis, projetada para o ano de 2035. (10^3 MWh)

	Cenário Base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário Compulsório
Modal Rodoviário	380.070	369.214	347.498	314.914	261.009
Automóveis	159.700	148.844	127.129	94.545	40.639

Tabela 18 - Comparação das emissões associadas ao modal rodoviário e automóveis, projetadas para o ano de 2035. (10^3 ton CO₂ eq.)

	Cenário Base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário Compulsório
Modal Rodoviário	76.857	74.501	69.786	62.709	53.439
Automóveis	30.810	27.668	21.383	11.945	0

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 15 mostra o impacto no consumo de energia elétrica causado pela entrada dos carros elétricos na frota de automóveis para cada cenário estudado. Estes valores indicam um aumento no consumo de energia elétrica. Propõe-se aqui avaliar e mensurar, em termos técnicos, a possibilidade de utilizar a energia solar fotovoltaica para atender este aumento no consumo. Pretende-se levantar a área total de painéis fotovoltaicos necessária para suprir o consumo em cada cenário.

A Tabela 19 mostra a projeção de consumo de energia elétrica e a Tabela 20 a projeção das emissões totais do estado extraídas da Matriz SP (2010).

Tabela 19 - Projeção do consumo de eletricidade do estado de São Paulo para o ano de 2035.
(10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Eletricidade	118.800	135.362	149.387	165.530	179.777	193.198	207.328

Tabela 20 - Projeção das emissões totais de CO₂ equivalente do estado de São Paulo para o ano de 2035. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Emissões	56.777	66.337	76.704	89.420	101.118	113.987	128.183

Comparando-se o consumo de energia elétrica de cada cenário projetado com o consumo total do estado de São Paulo tem-se a Tabela 21, que mostra quanto o aumento no consumo de energia elétrica referente a cada cenário de projeção representa do montante do consumo total projetado para o estado, em termos percentuais.

Tabela 21 - Relação de cada cenário com o consumo total de energia elétrica do estado em termos percentuais.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0,0%	0,0%	0,1%	0,6%	1,2%	1,8%	2,6%
Cenário 2	0,0%	0,0%	0,4%	1,9%	3,5%	5,4%	7,7%
Cenário 3	0,0%	0,0%	0,7%	3,7%	6,9%	10,7%	15,4%
Cenário Compulsório	0,0%	0,0%	2,0%	9,1%	14,4%	18,2%	19,6%

A Tabela 22 apresenta, em termos percentuais, a relação da redução das emissões da frota de automóveis devido a entrada de carros elétricos com as emissões totais do estado.

Tabela 22 - Relação da redução das emissões de cada cenário com as emissões totais do estado em termos percentuais.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário 1	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,3%	1,8%	2,5%
Cenário 2	0,0%	0,0%	0,2%	2,2%	3,9%	5,5%	7,4%
Cenário 3	0,0%	0,0%	0,5%	4,5%	7,7%	10,9%	14,7%
Cenário Compulsório	0,0%	0,0%	2,2%	10,1%	15,9%	20,2%	24,0%

Tendo em vista a tabela anterior, é inevitável constatar-se de pronto que, em um cenário completamente teórico onde no ano de 2035 todos os veículos da frota de automóveis do estado de São Paulo seriam elétricos, seria necessário aumentar a oferta de energia elétrica total do estado em 19,6% para suprir o aumento do consumo exigido nesta condição.

Considerando-se os resultados de cada cenário, nota-se uma relação linear entre o aumento da frota de carros elétricos com o aumento do consumo do estado. Ou seja, de forma aproximada, para cada incremento de 10% de carros elétricos na frota, corresponde um aumento de 2,6% no aumento do consumo de energia elétrica no estado.

Do ponto de vista das emissões nota-se que para cada incremento de 10% de carros elétricos na frota de automóveis corresponde uma redução de cerca de 2,5% nas emissões totais do estado. Quando apenas os automóveis são levados em consideração, esse percentual atinge os 10,2%,

ou seja, a cada 10% de carros elétricos inseridos na frota de automóveis do estado corresponde uma redução de 10,2% nas emissões associadas aos automóveis.

6.1. Análise da Oferta Utilizando Energia Solar Fotovoltaica

A Tabela 15 apresentada anteriormente, mostra o resultado das projeções do consumo de energia elétrica correspondente à entrada dos carros elétricos na frota de automóveis do estado de São Paulo. Estes valores representam o montante adicional de energia elétrica comparado ao Cenário Base, ou seja, este montante representa uma parcela nova de consumo que deverá ser suprida de alguma forma. A seguir faz-se um estudo analisando a utilização de energia solar fotovoltaica para suprimento deste adicional de energia.

Nesta análise será levantada a área total equivalente de painéis solares fotovoltaicos necessária para suprir o adicional de energia elétrica em cada cenário estudado. Segundo o IBGE, o estado de São Paulo tem uma área de 248.222 km².

A energia incidente global no estado de São Paulo pode ser dividida em faixas que, por sua vez, correspondem a uma área do território paulista (Energia Solar Paulista, 2013). A Tabela 23 mostra o potencial solar do estado de São Paulo por área.

Tabela 23 - Potencial solar do estado de São Paulo. (Energia Solar Paulista, 2013)

Radiação Solar Anual Incidente (kWh/m ² .dia)		Área (%)
4,20	4,30	1,1
4,31	4,40	2
4,41	4,50	3,2
4,51	4,60	2,8
4,61	4,70	3,5
4,71	4,80	3,8
4,81	4,90	2,2
4,91	5,00	1,9
5,01	5,10	3,1
5,11	5,20	4,6
5,21	5,30	4,8
5,31	5,40	15,6
5,41	5,50	29,3
5,51	5,60	21,8
5,61	5,70	0,3

Tomando-se a radiação média de cada linha e ponderando-se pela área equivalente tem-se a radiação solar média anual incidente para o estado de São Paulo.

Radiação Solar Anual Média Incidente (kWh/m ² .dia)
5,26

Tendo como referência as informações sobre as tecnologias de painéis fotovoltaicos contidas no Item 2.2.2 deste trabalho tem-se a Tabela 24.

Tabela 24 - Dados das diferentes tecnologias de células solares

Tecnologias	η_{\min} (%)	η_{\max} (%)	Relação Área/Potência (m ² /kWp)
Monocristalina	22,3	23,5	7
Policristalina	18,1	18,9	8
Silício Amorfo	8,0	8,4	16

De acordo com Lacchini e Santos (2010), considerando que o Watt de pico seja disponível somente durante uma hora de insolação máxima, é comum considerar que o valor máximo seja constante durante 30% das 12 horas de exposição solar do dia, ou seja, 4 horas.

Sabe-se que:

$$\eta_{\text{célula}} \cdot RS = E_{\text{dia}}$$

onde:

RS é a radiação solar anual média incidente [kWh/m².dia]

E_{dia} é a energia produzida pela célula por metro quadrado por dia [kWh/m².dia]

Tem-se também que:

$$kWp \cdot ID = E_{\text{dia}}$$

Onde:

ID é a insolação diária máxima média [h]

Daí calculou-se os valores para cada tipo de célula mostrados na Tabela 25.

Tabela 25 - Valores mínimo e máximo de energia diária gerada pelas células solares

	$E_{\text{min.dia/m}^2}$ (kWh/m ²)	$E_{\text{max.dia/m}^2}$ (kWh/m ²)	kWp _{min}	kWp _{max}
Monocristalina	1,17	1,24	0,29	0,31
Policristalina	0,95	0,99	0,24	0,25
Silício Amorfo	0,42	0,44	0,11	0,11

Os valores de kWp da tabela anterior, referem-se aos valores mínimo e máximo de potência por metro quadrado de placa para gerar o montante de energia diário para cada tipo de célula no estado de São Paulo. Mas sabendo a relação área/potência de cada placa chegamos aos valores de energia gerado para cada kWp.

Ou seja:

$$RAP \cdot E_{\text{dia}} = E_{\text{dia por kWp}}$$

Onde:

RAP é a relação área/potência de cada placa [m^2/kWp]

E_{dia} é a energia produzida pela célula por metro quadrado por dia [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$]

Para saber o montante de energia anual gerada para cada kWp basta multiplicar pelos dias do ano, assim tem-se a Tabela 26.

Tabela 26 - Valores anuais mínimo, máximo e médio de energia gerada para cada 1 kWp, por tipo de célula solar. (MWh/ano.kWp)

	E_{min}	E_{max}	$E_{\text{médio}}$
Monocristalina	3,00	3,16	3,08
Policristalina	2,78	2,90	2,84
Silício Amorfo	2,46	2,58	2,52

Tendo as projeções de consumo de energia elétrica dos cenários e o valor de $E_{\text{médio}}$ para cada tipo de célula, pode-se calcular a potência de pico correspondente. A partir do valor da potência, usa-se a relação área/potência para calcular a área total equivalente para cada tipo de célula.

A partir das projeções de consumo de energia elétrica para cada cenário mostradas na Tabela 15, calculou-se os valores de área conforme as tabelas a seguir.

Tabela 27 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário 1. (km^2)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Monocristalina	0,0	0,0	0,4	2,4	4,9	7,9	12,1
Policristalina	0,0	0,0	0,5	3,0	6,0	9,8	15,0
Silício Amorfo	0,0	0,0	1,1	6,7	13,6	22,1	33,7

Tabela 28 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário 2. (km²)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Monocristalina	0,0	0,0	1,2	7,1	14,4	23,7	36,3
Policristalina	0,0	0,0	1,5	8,8	17,9	29,3	44,9
Silício Amorfo	0,0	0,0	3,5	19,9	40,3	66,1	101,3

Tabela 29 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário 3. (km²)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Monocristalina	0,0	0,0	2,5	14,0	28,4	47,0	72,6
Policristalina	0,0	0,0	3,1	17,3	35,1	58,2	89,9
Silício Amorfo	0,0	0,0	7,0	39,1	79,3	131,3	202,8

Tabela 30 - Área total equivalente por tipo de painel para o Cenário Compulsório. (km²)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Monocristalina	0,0	0,0	6,8	34,3	58,8	79,8	92,4
Policristalina	0,0	0,0	8,4	42,5	72,7	98,8	114,4
Silício Amorfo	0,0	0,0	19,0	95,9	164,1	222,9	258,1

Visando conferir aos resultados um pouco de senso de realidade vamos tomar o Cenário 1 como exemplo, supondo-se utilizar células solares do tipo monocristalina.

Neste caso, para o ano de 2035, seriam necessários 12,1 km² de painéis fotovoltaicos para suprir o excedente de energia elétrica gerado pela introdução dos 10% de carros elétricos na frota de automóveis. Assumindo-se um telhado de referência com área útil de 100m² procede-se as considerações a seguir.

Se para o Cenário 1 são necessários 12,1 km² de área de painéis fotovoltaicos, utilizando nossa residência referência seriam necessárias 120.821 residências como essa para a instalação dos painéis solares com células do tipo monocristalina.

Se for feito o mesmo procedimento para o Cenário Compulsório, o valor será quase 8 vezes maior, ou seja, mais de um milhão e meio de residências.

A tabela a seguir mostra os resultados para cada cenário e tecnologia.

Tabela 31 - Relação entre área equivalente e área de telhado útil de referência. (número de residências)

		2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
CENÁRIO 1	Monocristalina	0	0	4.104	23.977	48.556	79.256	120.821
	Policristalina	0	0	5.080	29.680	60.105	98.106	149.557
	Silício Amorfo	0	0	11.460	66.960	135.602	221.337	337.415
CENÁRIO 2	Monocristalina	0	0	12.375	71.201	144.367	236.830	362.698
	Policristalina	0	0	15.318	88.136	178.702	293.157	448.961
	Silício Amorfo	0	0	34.559	198.843	403.170	661.390	1.012.900
CENÁRIO 3	Monocristalina	0	0	24.948	139.836	283.853	470.076	726.285
	Policristalina	0	0	30.881	173.095	351.364	581.878	899.023
	Silício Amorfo	0	0	69.671	390.518	792.712	1.312.773	2.028.284
CENÁRIO COMPULSÓRIO	Monocristalina	0	0	68.083	343.417	587.603	798.001	924.345
	Policristalina	0	0	84.275	425.094	727.358	987.796	1.144.189
	Silício Amorfo	0	0	190.134	959.054	1.640.990	2.228.564	2.581.402

Analisando as tabelas anteriores, percebe-se uma relação de aproximadamente 12 km² de área de painéis fotovoltaicos necessária para suprir o aumento no consumo de energia elétrica para cada incremento de 10% de carros elétricos na frota de automóveis do estado.

Ainda que este levantamento seja de natureza investigativa, cabe ressaltar alguns pontos. Primeiramente, fica claro que a utilização dos painéis fotovoltaicos não é uma alternativa viável quando se pensa nesta tecnologia como alternativa única em face do valor de 12 km², que é

bastante significativo. Entretanto, este panorama pode mudar quando se encara os painéis fotovoltaicos como alternativa de apoio e do ponto de vista das emissões.

Ainda é importante destacar que a inviabilidade não é só técnica, mas também, por enquanto, econômica. Apenas para ilustrar, tendo em vista o resultado para o Cenário 1, para a tecnologia do tipo monocristalina, é possível fazer uma estimativa de custos.

Segundo a Agência Internacional de Energia Renováveis, o preço para módulos do tipo monocristalino está em torno de US\$ 0,77/W (IRENA, 2012). Desta forma, posto a condição de cenário anterior, estima-se que para cobrir o consumo adicional de energia referente ao Cenário 1 seriam necessários investimentos que ultrapassariam 1 bilhão de dólares.

Assim, ainda que os painéis fotovoltaicos sejam uma tecnologia que agrada a muitos, sua utilização em grande escala ainda carece de vencer barreiras tanto tecnológicas quanto econômicas.

6.2. Análise do Impacto da Eficiência Energética dos Carros Elétricos no Consumo de Energia Elétrica

Em todas as projeções anteriores, a expectativa de melhora no desempenho dos carros elétricos considerada foi a mesma para todos os cenários.

Agora propõe-se fixar a penetração dos carros elétricos e projetar o consumo de energia da frota de automóveis variando-se a estimativa de melhoria do desempenho no horizonte do estudo, ou seja, para o ano de 2035.

Para esta análise, será utilizado os Cenários 1 deste trabalho. Desta forma será feita a estimativa do impacto da eficiência energética que advém dos avanços tecnológicos estimados para os motores dos carros elétricos. Esta estimativa de melhoria da eficiência dos motores será feita em três patamares. O cenário base para esta análise apresentará a eficiência congelada em seu valor referente ao ano de 2009. Os demais cenários serão de 5%, 10% e 20% de ganhos em termos de eficiência dos motores crescendo de forma progressiva até atingir o patamar do cenário no ano de 2035.

A Tabela 32 mostra os valores projetados.

Tabela 32 - Valores de desempenho energético projetados. (km/kWh)

	2009	2015	2035
Base	5,00	5,00	5,00
5%	5,00	5,06	5,25
10%	5,00	5,12	5,50
20%	5,00	5,23	6,00

O modelo de projeção assume valores consolidados até o ano de 2008. Sendo assim os valores projetados são considerados a partir de 2009. Ainda que a premissa deste trabalho seja a entrada dos carros elétricos somente em 2015, o mesmo não se aplica ao seu desenvolvimento tecnológico já que os carros elétricos já eram utilizados largamente em outros países. Portanto assumiu-se o ano de partida para o desempenho base como sendo 2009 atingindo o desempenho projetado em 2035.

Os resultados obtidos estão expressos nas tabelas a seguir.

Para o Cenário 1

Tabela 33 - Projeção do consumo de energia para os automóveis para o Cenário 1. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Base	0	0	187	1.121	2.332	3.907	6.109
5%	0	0	185	1.098	2.262	3.755	5.818
10%	0	0	182	1.076	2.197	3.615	5.553
20%	0	0	178	1.034	2.076	3.363	5.091

Tabela 34 - Redução percentual do consumo de energia para os automóveis para o Cenário 1

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
5%	0,0%	0,0%	1,1%	2,1%	3,0%	3,9%	4,8%
10%	0,0%	0,0%	2,3%	4,1%	5,8%	7,5%	9,1%
20%	0,0%	0,0%	4,4%	7,8%	11,0%	13,9%	16,7%

A partir dos resultados expressos nas tabelas anteriores pode-se verificar que, em termos de consumo de energia, haveria uma redução, em média, de 4,3% no consumo de energia elétrica a cada incremento de 5% no desempenho energético dos carros elétricos para o ano de 2035.

6.3. Análise do Impacto do Nível de Ocupação da Frota no Consumo de Energia e Emissões do Estado

Nas projeções feitas até aqui, considerou-se a variável Nível de Ocupação com valor 1,5 passageiros por veículos e constante para todos os cenários. Nesta seção, propõe-se avaliar o impacto das variações desta variável no consumo de energia e nas emissões da frota de veículos do estado.

Para este estudo, será considerado o Cenário 1 (10% de carros elétricos) como base para as simulações. Serão propostas condições de análise com 5 valores diferentes para a variável Nível de Ocupação. Como já abordado anteriormente, esta variável pode assumir valores de 1 a 5. Desta forma, serão simulados os cenários para os cinco valores inteiros, ou seja, Nível de Ocupação igual a 1, 2, 3, 4 e 5. O cenário base adotado será o do Nível de Ocupação igual a 1.

Processados os cálculos, obteve-se os resultados expressos na Tabela 35.

Tabela 35 - Projeção do consumo de energia para os automóveis variando-se o Nível de Ocupação (NO) para o Cenário 1. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Base (1)	72.510	99.880	115.746	122.748	140.920	160.067	184.795
2	72.510	99.880	91.636	93.244	102.966	112.765	125.812
3	72.510	99.880	88.638	84.127	88.214	93.185	101.601
4	72.510	99.880	85.873	77.259	79.138	83.345	91.664
5	72.510	99.880	83.323	72.085	73.554	78.400	87.585

Em termos de redução percentual tem-se a tabela a seguir.

Tabela 36 - Redução percentual do consumo de energia em relação ao cenário base para os automóveis para o Cenário 1.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
2	0,0%	0,0%	20,8%	24,0%	26,9%	29,6%	31,9%
3	0,0%	0,0%	23,4%	31,5%	37,4%	41,8%	45,0%
4	0,0%	0,0%	25,8%	37,1%	43,8%	47,9%	50,4%
5	0,0%	0,0%	28,0%	41,3%	47,8%	51,0%	52,6%

Com relação às emissões os resultados estão mostrados na Tabela 37.

Tabela 37 - Projeção das emissões totais de CO₂ equivalente do estado para diferentes valores do Nível de Ocupação. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Base (1)	15.551	20.656	22.857	23.618	26.698	29.982	34.351
2	15.551	20.656	18.096	17.941	19.507	21.122	23.387
3	15.551	20.656	17.504	16.187	16.712	17.454	18.886
4	15.551	20.656	16.958	14.865	14.993	15.611	17.039
5	15.551	20.656	16.454	13.870	13.935	14.685	16.281

Em termos de redução percentual tem-se a Tabela 38.

Tabela 38 - Redução percentual das emissões em relação ao cenário base (NO=1).

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
2	0,0%	0,0%	20,8%	24,0%	26,9%	29,6%	31,9%
3	0,0%	0,0%	23,4%	31,5%	37,4%	41,8%	45,0%
4	0,0%	0,0%	25,8%	37,1%	43,8%	47,9%	50,4%
5	0,0%	0,0%	28,0%	41,3%	47,8%	51,0%	52,6%

Dos resultados obtidos, nota-se que para o nível de ocupação com valores 4 ou 5 pessoas por veículo, tanto o consumo de energia quanto as emissões seriam reduzidas pela metade.

7. CONCLUSÕES

Certamente o binômio energia-emissões ganhou espaço definitivo tanto nas análises e discussões de questões hodiernas relacionadas ao desenvolvimento e sustentabilidade quanto nas inúmeras projeções que se faz, buscando encontrar alternativas viáveis para suprir e transformar uma sociedade tão voraz e dependente da energia. Pelo menos um consenso existe quando se fala em futuro, seja de uma região, país ou do planeta: não é possível continuar consumindo energia e poluindo desenfreadamente como feito no século passado e ainda hoje.

Neste contexto, uma das primeiras conclusões que se pode extrair deste trabalho é que qualquer iniciativa que contribua para minimizar o impacto do modo de vida atual no consumo de energia e nas emissões, provocando de forma coerente uma mudança na cultura e nos hábitos energéticos já consolidados é bem-vinda.

Primeiramente, ao expor historicamente as tecnologias aqui abordadas, o trabalho permite avaliar, do ponto de vista tecnológico, o estágio atual de desenvolvimento e analisar as possibilidades futuras. A junção de carros elétricos e sistemas fotovoltaicos foi proposital no sentido de manter-se o viés de sustentabilidade e a preocupação ambiental com a redução das emissões.

Ao descrever o setor de transportes no Brasil, verifica-se o quanto a matriz energética brasileira ainda é dependente de combustíveis fósseis. Decorrente deste fato, o setor se coloca como um dos grandes responsáveis pelas emissões de poluentes. Esta constatação de certa forma, justifica os estudos direcionados ao setor de transportes que buscam encontrar novos caminhos para a questão energética viabilizando a redução das emissões. Tornar o setor de transportes menos dependente de combustíveis fósseis é um enorme desafio que não deve ser evitado se realmente deseja-se mudar o panorama atual do setor.

A proposta metodológica deste trabalho, através de um modelo *bottom-up* mostrou-se satisfatória. A projeção da frota total de automóveis a partir de um modelo *top-down*, conferiu uma característica híbrida ao modelo. A utilização da taxa de crescimento do PIB para projetar a variável frota apresentou uma estimativa de erro aceitável, ou seja, para o caso do estado de São Paulo, o erro médio estimado foi de 2,6% para uma janela de 10 anos. No caso da projeção do estudo que cenzariza um horizonte de 30 anos, a expectativa de erro ficou em torno de 7,5%.

O modelo ganha robustez ao assumir de forma detalhada a questão do sucateamento e da estimativa da quilometragem média percorrida pelos veículos ao ponderar-se esta variável pela frota e pela idade dos veículos.

Os cenários propostos permitiram a análise a partir de duas situações extremas, ou seja, o Cenário Base sem carros elétricos e o Cenário Compulsório, que apesar de ser um cenário puramente teórico, mostrou-se importante para definir os limites máximos considerando a frota com todos os carros elétricos. Nos cenários intermediários as penetrações de 10%, 30% e 60% foram suficientes para identificar, como já era esperado, uma relação linear entre o consumo e as emissões com as taxas de penetração dos carros elétricos na frota de automóveis.

Foi constatado que com a entrada dos carros elétricos o consumo de energia diminuiu proporcionalmente à penetração ainda que a frota fosse a mesma. Concluímos que os carros elétricos além de diminuir as emissões, reduzem o consumo final de energia por serem mais eficientes que os veículos equipados com motores de combustão interna, o que representa uma economia indireta de energia. Esta análise é pertinente em um ponto de vista local, entretanto, não se pode ignorar a questão energética do ponto de vista global que inclui outros gastos e impactos energéticos do processo desde a geração da energia, seja por qual fonte for, até o seu consumo no uso final, neste caso, os motores dos carros elétricos. Da mesma forma, não se pode ignorar o ciclo de vida da energia. Estes aspectos não foram abordados neste trabalho.

Como esperado, as emissões apresentaram reduções em todos os cenários de penetração confirmando a vocação dos carros elétricos como uma solução limpa para o setor de transportes.

Com relação à análise da utilização de energia solar fotovoltaica para suprir o consumo excedente de energia devido à introdução dos carros elétricos na frota de automóveis, os resultados mostram que deve-se ter cuidado. A implantação desta tecnologia ainda enfrenta grandes barreiras, tanto técnicas como econômicas. Os resultados mostraram que, hoje, a energia solar fotovoltaica é inviável se for considerada de forma isolada. Entretanto, o seu uso como fonte de apoio é possível e pode ser benéfica de diversas formas. Primeiramente, ao prover a energia durante o dia para o sistema elétrico. Apesar do sistema de distribuição não ser capaz de “armazenar” energia, o balanço energético se daria na forma de consumo evitado, ou seja, o sistema usaria a energia fornecida pelo sistema fotovoltaico durante o dia e "devolveria" a mesma durante a noite enquanto os carros elétricos estivessem sendo carregados. Isto é claro,

prevendo-se o ciclo noturno de recarga dos veículos. Entretanto, este é um estudo que merece atenção e uma análise mais detalhada.

Do ponto de vista da eficiência energética, o impacto dos carro elétricos é positivo, como esperado. Esperando-se que os avanços tecnológicos ocorram no sentido de aumentar a eficiência dos carros elétricos com o passar dos anos, não é ilusório esperar-se que a substituição gradativa da frota de automóveis por carros elétricos contribua não só para a redução das emissões mas também para o aumento da eficiência do setor de transportes, condição que será traduzida em economia de recursos financeiros e consequente aumento na competitividade do setor.

Finalmente, a análise do impacto da variação do nível de ocupação dos veículos mostrou que existe um grande potencial de redução no consumo de energia a ser explorado. Esta variável é importante por oferecer subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas de incentivo ao uso consciente dos veículos. Muitas ações podem ser implementadas visando aumentar o número de passageiros que utilizam cada veículo o que, conforme foi analisado, causará um impacto positivo reduzindo-se o consumo de energia.

Limitações e recomendações

Tendo em vista que não se espera esgotar o assunto, são cabíveis algumas considerações a respeito do trabalho.

Os estudos realizados, no que tange os carros elétricos, em momento algum consideraram as questões de logística quanto a carga e recarga dos veículos e nem o impacto deste processo na rede elétrica como um todo. Estudos nesse sentido já vem sendo feitos e devem continuar, buscando mensurar os efeitos do aumento do consumo de energia na rede física da concessionária e as modificações necessárias quando for este o caso. Estudos mais detalhados quanto a condições de recarga dos veículos elétricos devem ser feitos, incluindo levantar-se o efeito desta recarga na rede em diferentes horas do dia e seu impacto nas horas de pico.

Neste trabalho foram considerados apenas os veículos elétricos puros. Estudos similares considerando os veículos híbridos *plugin* seriam interessantes para estudar de forma integrada o impacto no consumo de energia e no consumo dos combustíveis fósseis.

Não foram abordados os aspectos econômicos envolvidos na mudança do perfil da frota para torná-lo "elétrico". Como o carro elétrico ainda não é totalmente competitivo com os veículos convencionais é importante estudos que apontem caminhos para viabilizar ações privadas ou governamentais no sentido de incentivar o uso de tais veículos. Ações públicas são essenciais para o sucesso de qualquer iniciativa nesse sentido.

Do ponto de vista ambiental, não foi abordada a questão do descarte das baterias utilizadas pelos veículos elétricos ao fim de sua vida útil bem como as questões de avanços tecnológicos pertinentes ao armazenamento de energia pelas baterias.

Seria interessante outros estudos propondo suprir o consumo excedente de energia através de outras fontes como termelétricas ou concentradores solares e seus balanços finais quanto a emissões. Principalmente, levando-se em consideração os impactos energéticos e o ciclo de vida da energia mensurando de forma coerente todo o fluxo energético envolvido no processo.

Igualmente importantes são estudos no âmbito de políticas públicas para, como já foi dito, incentivar o uso desta tecnologia. Arelado as políticas públicas vem os estudos econômicos buscando alternativas e estratégias para viabilizar o crédito e/ou subsídios no sentido de permitir a popularização do uso dos carros elétricos sempre, claro, que houver um entendimento governamental de que esta iniciativa seja pertinente e cabível.

8. REFERÊNCIAS

Ahmadi L., Croiset E., Elkamel A., Douglas P. L., Unbangluang W., Entchev E. 2012. Impact of PHEVs Penetration on Ontario's Electricity Grid and Environmental Considerations. *Energies*.

Alexandre-Edmond Becquerel @ www.wikipedia.org

Anderson, C. D.; Anderson J. 2010. *Electric and Hybrid Cars. A History. Second Edition.* McFarland & Company, Inc., Publishers.

Anfavea. 2009. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira.* Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. São Paulo.

Axsen J., Kurani K. S. 2010. Anticipating plug-in hybrid vehicle energy impacts in California: Constructing consumer-informed recharge profiles. *Transportation Research Part D* 15 (2010) 212–219. Elsevier.

Baran R. 2012. *A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade.* Tese. UFRJ/COPPE.

Baran, R., Legey, L. F. L., 2010. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. *BNDES Setorial* 33, p. 207-224.

Bateria Chumbo-Ácido de Gaston Planté @ www.magnet.fsu.edu

BEESP. 2008. *Balanco Energético do Estado de São Paulo.* Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Saneamento e Energia.

Böhringer, C., Rutherford, T. F. 2007. Combining bottom-up and top-down. *Energy Economics* 30 (2008) 574–596.

Borba B. S. M. C. 2012. *Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético brasileiro.* Tese. UFRJ/ COPPE.

Brasil, G. H., Junior, P. A. de S., Junior, J. A. de C. 2008. Inventários Corporativos de Gases de Efeito Estufa: Métodos e Usos. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, Niterói*, v. 3, n. 1, p. 15-26.

Castro, B. H. R., Ferreira, T. T. 2010. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial 32, p. 267-310

Castro, N. de. 2012. Mensuração de externalidades do transporte de carga brasileiro. *Journal of Transport Literature*.

Células fotovoltaicas @ solarvoltaics (www.solar-voltaics.com)

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Programa Estadual de Mudanças Climáticas. São Paulo. <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima>. Acesso em: fevereiro, 2010.

CNT. 2012. A Importância do Setor de Transportes. Confederação Nacional do Transporte. Economia em Foco.

Denholm P., Kuss M., Margolis R. M. 2012. Co-benefits of large scale plug-in hybrid electric vehicle and solar PV deployment. *Journal of Power Sources* 236 (2013) 350-356. Elsevier.

Dickerman, L., Harisson, J. 2010. A new car, a new grid. *IEEE power & energy magazine*.

DOE (U.S. Department of Energy), EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy), Vehicle Technologies Office, Advanced Vehicle Testing Activity, History of Electric Vehicles. 2005. Disponível em <http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/light_duty/fsev/fsev_history.html>. Acesso em maio de 2013.

Egbue, O., Long, S. 2012. Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy* 48 (2012) 717–729. Elsevier.

Eletróbrás. 1984. Anais do Encontro Técnico sobre Utilização de Veículos Elétricos. Rio de Janeiro.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2012.

Energia Solar Paulista. Levantamento do Potencial. 2013. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Energia. Subsecretaria de Energias Renováveis. São Paulo.

Ford, A. 1994. Electric vehicles and the electric utility company. *Energy Policy* 1994 22 (7) 555-570. Elsevier.

- Gompertz, B. "On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies." *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 123, 513-585, 1832.
- Grätzel, M. 2003. Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. 4 (2003) 145–153.
- Green, M. A. 2000. Photovoltaics: technology overview. *Energy Policy* 28 (2000) 989-998. Elsevier.
- Green, M. A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E. D. 2013. Solar cell efficiency tables (version 41). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. Wiley Online Library 2013; 21:1–11.
- Hadley S. W., Tsvetkova A. A. 2009. Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation. *The Electricity Journal*. Elsevier. December 2009, Vol. 22, Issue 10 1040-6190.
- Heaps, C. A Tool for Energy Planning and GHG Mitigation Assessment. Stockholm Environment Institute.
- Hijjar M. F. e Lobo A. 2011. Cenário da Infraestrutura Rodoviária no Brasil. Instituto de Logística e Supply Chain. Rio de Janeiro.
- Hoyer, K.G. 2008. The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars. *Utilities Policy* 16 (2008) 63e71. Elsevier.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3). 1996.
- IRENA. 2012. Summary For Policy Makers: Renewable Power Generation Costs. International Renewable Energy Agency.
- Lacchini, C., Santos, J. C. V. 2010. Energia Fotovoltaica: Uma Nova Perspectiva para o Planejamento Energético, Usando Critérios Diferenciados de Análise. VII CBPE.
- Lang J., Cheng S., Zhou Y., Zhao B., Wang H., Zhang S. 2013. Energy and Environmental Implications of Hybrid and Electric Vehicles in China. *Energies* 2013, 6, 2663-2685.

Liu J. 2012. Electric vehicle charging infrastructure assignment and power grid impacts assessment in Beijing. *Energy Policy* 51 (2012) 544–557. Elsevier.

Lynn, Paul A. 2010. *Electricity from sunlight: an introduction to photovoltaics*. John Wiley & Sons, Ltd

Matriz Energética do Estado de São Paulo - 2035. 2010. Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo.

Mattos, L. B. R. 2001. *A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa - O caso do município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.

Michael Faraday @ www.wikipedia.org

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. 2013. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – Seped.

Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT. 2004. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília.

Mullan J., Harries D., Bräunl T. Whitely S. 2011. Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system. *Energy Policy* 39 (2011) 4349–4359. Elsevier.

Peres, L. A. P. 2000. *Avaliação dos Impactos Energéticos e Ambientais da Introdução de Veículos Elétricos*. Tese. Efei. Itajubá.

Perujo A., Ciuffo B. 2010. The introduction of electric vehicles in the private fleet: Potential impact on the electric supply system and on the environment. A case study for the Province of Milan, Italy. *Energy Policy* 38 (2010) 4549–4561. Elsevier.

Peterson, S. B., Michalek, J. J. 2012. Cost-effectiveness of plug-in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption. *Energy Policy*. Elsevier.

Rahman, S., Shrestha, G. B. 1993. An Investigation Into The Impact Of Electric Vehicle Load On The Electric Utility Distribution System. *IEEE Transactions on Power Delivery*.

Richardson D. B. 2012. Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19 (2013) 247–254. Elsevier.

Riordan, M., Hoddeson, L., 1997. *Crystal Fire*. Norton, New York.

Sovacool, B.K., Hirsh, R.F., 2009. Beyond batteries: an examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. *Energy Policy* 37 (3), 1095–1103. Elsevier.

Stachel, J. (Ed.), 1998. *Einstein's Miraculous Year*. Princeton University Press, New York.

Westbrook, M.H., 2001. *The Electric Car: Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-Cell Cars*. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA, USA.

ANEXO 1

TABELAS

ANEXO 1 - TABELAS

Projeções de Frota

A seguir apresenta-se as tabelas citadas ao longo do texto contendo os dados que deram origem aos gráficos e figuras que ilustram os resultados.

Tabela 39 - Frota de automóveis projetada para 2035 em número de veículos.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Frota Total	6.846.444	8.476.667	10.016.643	11.812.468	13.872.643	16.189.352	18.741.910

Tabela 40 - Projeção da frota de automóveis no Cenário Base, por tipo de combustível, para 2035, em número de veículos.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.100.977	2.140.037	1.534.119	1.283.592	1.362.179
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Flex	380.358	3.101.127	5.921.567	8.724.677	11.378.611	13.892.806	16.286.284
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676

Tabela 41 - Projeção da frota de automóveis com 10% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.100.500	2.128.841	1.494.808	1.193.248	1.191.506
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Flex	380.358	3.101.127	5.874.346	8.398.375	10.691.260	12.749.675	14.582.765
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétricos	0	0	47.698	337.499	726.662	1.233.474	1.874.191

Tabela 42 - Projeção da frota de automóveis com 30% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.099.546	2.106.448	1.416.186	1.012.560	850.160
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Flex	380.358	3.101.127	5.779.903	7.745.770	9.316.557	10.463.414	11.175.729
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétricos	0	0	143.095	1.012.497	2.179.987	3.700.423	5.622.573

Tabela 43 - Projeção da frota de automóveis com 60% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.098.116	2.072.858	1.298.253	741.528	338.142
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Flex	380.358	3.101.127	5.638.239	6.766.862	7.254.503	7.034.023	6.065.174
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétricos	0	0	286.190	2.024.995	4.359.974	7.400.846	11.245.146

Tabela 44 - Projeção da frota de automóveis com 100% de carros elétricos, por tipo de combustível, para 2035

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.167.292	2.375.469	1.583.646	791.823	0
Etanol	1.065.002	778.713	594.795	446.097	297.398	148.699	0
Flex	380.358	3.101.127	5.095.670	3.821.753	2.547.835	1.273.918	0
GNV	260.462	339.067	369.073	276.805	184.537	92.268	0
Elétricos	0	0	789.812	4.892.345	9.259.228	13.882.644	18.741.910

Projeções de Consumo e Emissões

Tabela 45 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário Base. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	45.697	59.606	53.460	57.201	66.396	76.436	89.846
Etanol	24.261	35.092	35.538	39.798	47.009	54.432	63.666
GNV	2.552	5.182	4.385	4.306	4.759	5.334	6.189
Eletricidade	0	0	0	0	0	0	0
Total	72.510	99.880	93.383	101.305	118.163	136.202	159.700

Tabela 46 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário Base. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Modal Rodoviário	30.978	41.862	45.427	51.650	59.194	67.329	76.857
Automóveis	15.551	20.656	18.474	19.689	22.806	26.225	30.810

Tabela 47 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário 1. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	45.697	59.606	53.260	55.190	62.451	70.132	80.298
Etanol	24.261	35.092	35.392	38.338	44.179	49.986	57.043
GNV	2.552	5.182	4.396	4.286	4.740	5.325	6.191
Eletricidade	0	0	180	1.054	2.135	3.485	5.312
Total	72.510	99.880	93.229	98.868	113.505	128.927	148.844

Tabela 48 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 1. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Modal Rodoviário	30.978	41.862	45.380	51.150	58.217	65.771	74.501
Automóveis	15.551	20.656	18.410	19.023	21.504	24.149	27.668

Tabela 49 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário 2. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	45.697	59.606	52.861	51.179	54.590	57.554	61.195
Etanol	24.261	35.092	35.099	35.424	38.541	41.115	43.793
GNV	2.552	5.182	4.419	4.243	4.697	5.304	6.195
Eletricidade	0	0	544	3.130	6.347	10.412	15.946
Total	72.510	99.880	92.923	93.976	104.176	114.385	127.129

Tabela 50 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 2. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Modal Rodoviário	30.978	41.862	45.286	50.151	56.268	62.662	69.786
Automóveis	15.551	20.656	18.283	17.694	18.908	20.005	21.383

Tabela 51 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário 3. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	45.697	59.606	52.260	45.189	42.892	38.784	32.514
Etanol	24.261	35.092	34.660	31.073	30.152	27.880	23.897
GNV	2.552	5.182	4.454	4.166	4.618	5.263	6.202
Eletricidade	0	0	1.097	6.148	12.480	20.667	31.932
Total	72.510	99.880	92.470	86.576	90.142	92.594	94.545

Tabela 52 - Emissões totais projetadas do modal rodoviário e a participação dos automóveis no Cenário 3. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Modal Rodoviário	30.978	41.862	45.145	48.657	53.365	58.021	62.709
Automóveis	15.551	20.656	18.092	15.708	15.043	13.820	11.945

Tabela 53 - Projeção do consumo de energia de automóveis, por combustível, no Cenário Compulsório. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gasolina	45.697	59.606	48.564	30.835	19.503	9.332	0
Etanol	24.261	35.092	31.811	19.974	12.373	5.836	0
GNV	2.552	5.182	4.057	2.481	1.497	679	0
Eletricidade	0	0	2.993	15.099	25.834	35.085	40.639
Total	72.510	99.880	87.426	68.388	59.208	50.931	40.639

Comparação entre os Cenários

Tabela 54 - Projeção do consumo de energia para o modal rodoviário. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário Base	149.736	205.757	221.374	251.609	290.251	331.457	380.070
Cenário 1	149.736	205.757	221.220	249.173	285.593	324.183	369.214
Cenário 2	149.736	205.757	220.914	244.280	276.264	309.640	347.498
Cenário 3	149.736	205.757	220.462	236.880	262.229	287.850	314.914
Cenário Compulsório	149.736	205.757	215.417	218.693	231.295	246.187	261.009

Tabela 55 - Projeção do consumo de energia para automóveis. (10³ MWh)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário Base	72.510	99.880	93.383	101.305	118.163	136.202	159.700
Cenário 1	72.510	99.880	93.229	98.868	113.505	128.927	148.844
Cenário 2	72.510	99.880	92.923	93.976	104.176	114.385	127.129
Cenário 3	72.510	99.880	92.470	86.576	90.142	92.594	94.545
Cenário Compulsório	72.510	99.880	87.426	68.388	59.208	50.931	40.639

Tabela 56 - Projeção das emissões associadas aos automóveis. (10³ ton CO₂ eq.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Cenário Base	15.551	20.656	18.474	19.689	22.806	26.225	30.810
Cenário 1	15.551	20.656	18.410	19.023	21.504	24.149	27.668
Cenário 2	15.551	20.656	18.283	17.694	18.908	20.005	21.383
Cenário 3	15.551	20.656	18.092	15.708	15.043	13.820	11.945
Cenário Compulsório	15.551	20.656	16.797	10.646	6.719	3.207	0

ANEXO 2

PLANILHAS

DISTRIBUIÇÃO POR COMBUSTÍVEL							
Combustível	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Etanol	14,5	8,7	5,7	3,9	2,9	2,3	1,9
Gasolina	68,7	45,9	28,3	16,8	10,5	7,6	6,9
Flex	5,2	32,8	53,6	67,0	74,6	78,3	79,6
Diesel	8,5	9,3	9,2	9,1	8,8	8,6	8,4
GNV	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Elétrico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Híbrido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AUTOMÓVEIS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	18.360.000						
% SP	37,29						
Estado	6.846.444	8.476.667	10.016.643	11.812.468	13.872.643	16.189.352	18.741.910
Motorização	172,2	203,1	231,6	265,4	304,5	349,3	400,4
% Etanol	15,6						
% Gasolina	75,1						
% Flex	5,6						
% GNV	3,8						
Licenciados Estado	459.386	665.152	959.668	1.384.589	1.997.658	2.882.182	4.158.354
% Licenciados Etanol	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Licenciados Gasolina	44,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
% Licenciados Flex	53,2	95,5	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0
% Licenciados Elétricos/Híbridos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Licenciados Etanol	10.566	0	0	0	0	0	0
Licenciados Gasolina	204.427	29.932	38.387	55.384	79.906	115.287	166.334
Licenciados Flex	244.393	635.220	921.281	1.329.206	1.917.752	2.766.894	3.992.020
Licenciados Elétricos/Híbridos	0	0	0	0	0	0	0
Sucateados Estado	252.333	325.364	445.387	696.686	1.096.966	1.572.540	2.042.921
Sucateados Etanol	62.231	46.542	31.103	19.184	11.106	6.154	3.320
Sucateados Gasolina	189.081	253.547	263.066	221.158	171.522	138.691	124.106
Sucateados Flex	1.020	25.274	151.218	452.467	880.546	1.298.119	1.596.207
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.100.977	2.140.037	1.534.119	1.283.592	1.362.179
Flex	380.358	3.101.127	5.921.567	8.724.677	11.378.611	13.892.806	16.286.284
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétrico	0	0	0	0	0	0	0
Híbrido	0	0	0	0	0	0	0
COMERCIAIS LEVES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	2.912.000						
% SP	31,72						
Estado	923.686	1.334.055	1.730.462	2.117.984	2.490.763	2.858.321	3.226.092
% Diesel	26,7						
% Flex	1,3						
% Gasolina	57,8						
% Etanol	14,2						
Licenciados Estado	71.732	136.770	165.190	185.751	209.222	233.385	258.013
% Licenciados Diesel	31,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
% Licenciados Flex	33,5	62,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
% Licenciados Gasolina	34,9	13,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Licenciados Etanol	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Licenciados Diesel	22.237	34.193	41.297	46.438	52.306	58.346	64.503
Licenciados Flex	24.030	84.798	115.633	130.026	146.456	163.370	180.609
Licenciados Gasolina	25.034	17.780	8.259	9.288	10.461	11.669	12.901
Licenciados Etanol	430	0	0	0	0	0	0
Sucateados Estado	51.658	65.161	85.061	109.826	135.300	160.007	184.195
Sucateados Diesel	13.910	18.255	23.395	29.117	34.902	40.633	46.399
Sucateados Flex	747	8.809	27.967	53.910	80.039	103.414	124.161
Sucateados Gasolina	30.382	33.482	30.813	25.120	19.428	15.458	13.369
Sucateados Etanol	6.618	4.614	2.885	1.677	930	502	243
Diesel	246.230	369.046	457.476	544.977	631.648	719.562	809.251
Flex	11.975	290.502	726.727	1.130.600	1.480.814	1.792.231	2.080.391
Gasolina	534.272	540.419	429.869	336.617	278.503	250.000	241.671
Etanol	131.209	134.089	116.398	105.806	99.819	96.552	94.829

CAMINHÕES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	1.373.000						
% SP	27,55						
Estado	378.262	487.443	576.705	677.829	777.062	887.277	1.012.157
Licenciados Estado	21.125	41.596	33.502	39.383	42.753	49.873	57.210
Sucateados Estado	13.447	13.876	15.329	18.333	22.392	26.693	30.984
% Semileves	9,0	6,4	7,1	7,8	8,6	9,3	10,0
% Leves	25,5	24,7	23,8	22,8	21,9	20,9	20,0
% Médios	11,0	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,0
% Semipesados	29,3	30,7	29,6	28,4	27,3	26,1	25,0
% Pesados	25,1	27,9	29,3	30,8	32,2	33,6	35,0
Semileves diesel	33.887	30.958	40.930	53.119	66.499	82.329	101.216
Leves diesel	95.974	120.206	136.937	154.696	170.033	185.803	202.431
Médios diesel	41.444	49.815	58.778	68.852	78.523	89.194	101.216
Semipesados diesel	110.627	149.449	170.383	192.651	211.992	231.940	253.039
Pesados diesel	94.736	135.961	169.151	208.511	250.015	298.011	354.255
Caminhões Etanol	1.593	1.054	527	0	0	0	0
Caminhões Gás	0	0	0	0	0	0	0
ÔNIBUS E MICROÔNIBUS							
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
TOTAL (O+MO)	368.000						
% Ônibus	60,00						
% Microônibus	40,00	FROTA DE ÔNIBUS + MICROÔNIBUS					
% SP	31,42	148.035	159.432	172.284	187.569	205.071	223.917
ÔNIBUS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	220.800						
Estado	69.375	93.060	116.887	134.068	148.414	161.631	174.833
Licenciados Estado	2.577	7.457	5.771	5.184	5.311	5.892	6.658
Sucateados Estado	1.197	1.441	1.709	2.050	2.577	3.281	3.973
URBANO							
Diesel	55.500	74.448	93.510	107.254	118.731	129.304	139.866
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
INTERURBANO							
Diesel	13.875	18.612	23.377	26.814	29.683	32.326	34.967
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
MICROÔNIBUS (DIESEL)							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	147.200						
Estado	46.250	54.975	42.545	38.216	39.155	43.440	49.084
Licenciados Estado	1.718	4.971	3.847	3.456	3.541	3.928	4.439
Sucateados Estado	798	961	1.139	1.367	1.718	2.188	2.649
MOTOS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Estado	1.831.428	3.529.523	4.930.447	6.424.377	8.116.861	10.035.112	12.141.909
% Gasolina	100,0	100,0	99,0	98,0	98,0	98,0	98,0
% Flex	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Gasolina	1.831.428	3.529.523	4.881.143	6.295.889	7.954.523	9.834.410	11.899.071
Flex	0	0	49.304	128.488	162.337	200.702	242.838
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
População	39.769.582	41.737.337	43.258.418	44.506.843	45.560.924	46.354.451	46.802.919
Crescimento	1,16	0,85	0,64	0,53	0,43	0,29	0,13
PIB	0,00	4,32	3,39	3,32	3,22	3,07	2,90
TOTAL FROTA SP	8.264.018	10.446.199	12.483.241	14.780.565	17.328.037	20.140.021	23.204.076

Figura 41 - Planilha de dados Cenário Base.

DISTRIBUIÇÃO POR COMBUSTÍVEL							
Combustível	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Etanol	14,5	8,7	5,7	3,9	2,9	2,3	1,9
Gasolina	68,7	45,9	28,3	16,7	10,2	7,2	6,2
Flex	5,2	32,8	53,2	64,8	70,6	72,6	72,2
Diesel	8,5	9,3	9,2	9,1	8,8	8,6	8,4
GNV	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Elétrico	0,0	0,0	0,4	2,3	4,2	6,1	8,1
Híbrido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AUTOMÓVEIS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	18.360.000						
% SP	37,29						
Estado	6.846.444	8.476.667	10.016.643	11.812.468	13.872.643	16.189.352	18.741.910
Motorização	172,2	203,1	231,6	265,4	304,5	349,3	400,4
% Etanol	15,6						
% Gasolina	75,1						
% Flex	5,6						
% GNV	3,8						
Licenciados Estado	459.386	665.152	959.668	1.384.589	1.997.658	2.882.182	4.158.354
% Licenciados Etanol	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Licenciados Gasolina	44,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
% Licenciados Flex	53,2	95,5	91,0	91,3	91,7	92,1	92,6
% Licenciados Elétricos/Híbridos	0,0	0,0	5,0	4,7	4,3	3,9	3,4
Licenciados Etanol	10.566	0	0	0	0	0	0
Licenciados Gasolina	204.427	29.932	38.387	55.384	79.906	115.287	166.334
Licenciados Flex	244.393	635.220	873.583	1.263.907	1.831.064	2.655.312	3.852.425
Licenciados Elétricos/Híbridos	0	0	47.698	65.299	86.688	111.582	139.595
Sucateados Estado	252.333	325.364	445.387	696.686	1.096.966	1.572.540	2.042.921
Sucateados Etanol	62.231	46.542	31.103	19.184	11.106	6.154	3.320
Sucateados Gasolina	189.081	253.547	263.066	221.158	171.522	138.691	124.106
Sucateados Flex	1.020	25.274	151.218	452.467	880.546	1.298.119	1.596.207
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.100.500	2.128.841	1.494.808	1.193.248	1.191.506
Flex	380.358	3.101.127	5.874.346	8.398.375	10.691.260	12.749.675	14.582.765
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétrico	0	0	47.698	337.499	726.662	1.233.474	1.874.191
Híbrido	0	0	0	0	0	0	0
COMERCIAIS LEVES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	2.912.000						
% SP	31,72						
Estado	923.686	1.334.055	1.730.462	2.117.984	2.490.763	2.858.321	3.226.092
% Diesel	26,7						
% Flex	1,3						
% Gasolina	57,8						
% Etanol	14,2						
Licenciados Estado	71.732	136.770	165.190	185.751	209.222	233.385	258.013
% Licenciados Diesel	31,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
% Licenciados Flex	33,5	62,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
% Licenciados Gasolina	34,9	13,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Licenciados Etanol	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Licenciados Diesel	22.237	34.193	41.297	46.438	52.306	58.346	64.503
Licenciados Flex	24.030	84.798	115.633	130.026	146.456	163.370	180.609
Licenciados Gasolina	25.034	17.780	8.259	9.288	10.461	11.669	12.901
Licenciados Etanol	430	0	0	0	0	0	0
Sucateados Estado	51.658	65.161	85.061	109.826	135.300	160.007	184.195
Sucateados Diesel	13.910	18.255	23.395	29.117	34.902	40.633	46.399
Sucateados Flex	747	8.809	27.967	53.910	80.039	103.414	124.161
Sucateados Gasolina	30.382	33.482	30.813	25.120	19.428	15.458	13.369
Sucateados Etanol	6.618	4.614	2.885	1.677	930	502	243
Diesel	246.230	369.046	457.476	544.977	631.648	719.562	809.251
Flex	11.975	290.502	726.727	1.130.600	1.480.814	1.792.231	2.080.391
Gasolina	534.272	540.419	429.869	336.617	278.503	250.000	241.671
Etanol	131.209	134.089	116.398	105.806	99.819	96.552	94.829

CAMINHÕES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	1.373.000						
% SP	27,55						
Estado	378.262	487.443	576.705	677.829	777.062	887.277	1.012.157
Licenciados Estado	21.125	41.596	33.502	39.383	42.753	49.873	57.210
Sucateados Estado	13.447	13.876	15.329	18.333	22.392	26.693	30.984
% Semileves	9,0	6,4	7,1	7,8	8,6	9,3	10,0
% Leves	25,5	24,7	23,8	22,8	21,9	20,9	20,0
% Médios	11,0	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,0
% Semipesados	29,3	30,7	29,6	28,4	27,3	26,1	25,0
% Pesados	25,1	27,9	29,3	30,8	32,2	33,6	35,0
Semileves diesel	33.887	30.958	40.930	53.119	66.499	82.329	101.216
Leves diesel	95.974	120.206	136.937	154.696	170.033	185.803	202.431
Médios diesel	41.444	49.815	58.778	68.852	78.523	89.194	101.216
Semipesados diesel	110.627	149.449	170.383	192.651	211.992	231.940	253.039
Pesados diesel	94.736	135.961	169.151	208.511	250.015	298.011	354.255
Caminhões Etanol	1.593	1.054	527	0	0	0	0
Caminhões Gás	0	0	0	0	0	0	0
ÔNIBUS E MICROÔNIBUS							
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
TOTAL (O+MO)	368.000						
% Ônibus	60,00						
% Microônibus	40,00	FROTA DE ÔNIBUS + MICROÔNIBUS					
% SP	31,42	148.035	159.432	172.284	187.569	205.071	223.917
ÔNIBUS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	220.800						
Estado	69.375	93.060	116.887	134.068	148.414	161.631	174.833
Licenciados Estado	2.577	7.457	5.771	5.184	5.311	5.892	6.658
Sucateados Estado	1.197	1.441	1.709	2.050	2.577	3.281	3.973
URBANO							
Diesel	55.500	74.448	93.510	107.254	118.731	129.304	139.866
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
INTERURBANO							
Diesel	13.875	18.612	23.377	26.814	29.683	32.326	34.967
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
MICROÔNIBUS (DIESEL)							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	147.200						
Estado	46.250	54.975	42.545	38.216	39.155	43.440	49.084
Licenciados Estado	1.718	4.971	3.847	3.456	3.541	3.928	4.439
Sucateados Estado	798	961	1.139	1.367	1.718	2.188	2.649
MOTOS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Estado	1.831.428	3.529.523	4.930.447	6.424.377	8.116.861	10.035.112	12.141.909
% Gasolina	100,0	100,0	99,0	98,0	98,0	98,0	98,0
% Flex	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Gasolina	1.831.428	3.529.523	4.881.143	6.295.889	7.954.523	9.834.410	11.899.071
Flex	0	0	49.304	128.488	162.337	200.702	242.838
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
População	39.769.582	41.737.337	43.258.418	44.506.843	45.560.924	46.354.451	46.802.919
Crescimento	1,16	0,85	0,64	0,53	0,43	0,29	0,13
PIB	0,00	4,32	3,39	3,32	3,22	3,07	2,90
TOTAL FROTA SP	8.264.018	10.446.199	12.483.241	14.780.565	17.328.037	20.140.021	23.204.076

Figura 42 - Planilha de dados Cenário 1.

DISTRIBUIÇÃO POR COMBUSTÍVEL							
Combustível	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Etanol	14,5	8,7	5,7	3,9	2,9	2,3	1,9
Gasolina	68,7	45,9	28,3	16,5	9,8	6,3	4,7
Flex	5,2	32,8	52,5	60,4	62,7	61,3	57,6
Diesel	8,5	9,3	9,2	9,1	8,8	8,6	8,4
GNV	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Elétrico	0,0	0,0	1,1	6,9	12,6	18,4	24,2
Híbrido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AUTOMÓVEIS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	18.360.000						
% SP	37,29						
Estado	6.846.444	8.476.667	10.016.643	11.812.468	13.872.643	16.189.352	18.741.910
Motorização	172,2	203,1	231,6	265,4	304,5	349,3	400,4
% Etanol	15,6						
% Gasolina	75,1						
% Flex	5,6						
% GNV	3,8						
Licenciados Estado	459.386	665.152	959.668	1.384.589	1.997.658	2.882.182	4.158.354
% Licenciados Etanol	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Licenciados Gasolina	44,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
% Licenciados Flex	53,2	95,5	81,1	81,9	83,0	84,4	85,9
% Licenciados Elétricos/Híbridos	0,0	0,0	14,9	14,1	13,0	11,6	10,1
Licenciados Etanol	10.566	0	0	0	0	0	0
Licenciados Gasolina	204.427	29.932	38.387	55.384	79.906	115.287	166.334
Licenciados Flex	244.393	635.220	778.186	1.133.308	1.657.689	2.432.147	3.573.235
Licenciados Elétricos/Híbridos	0	0	143.095	195.898	260.063	334.747	418.785
Sucateados Estado	252.333	325.364	445.387	696.686	1.096.966	1.572.540	2.042.921
Sucateados Etanol	62.231	46.542	31.103	19.184	11.106	6.154	3.320
Sucateados Gasolina	189.081	253.547	263.066	221.158	171.522	138.691	124.106
Sucateados Flex	1.020	25.274	151.218	452.467	880.546	1.298.119	1.596.207
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.099.546	2.106.448	1.416.186	1.012.560	850.160
Flex	380.358	3.101.127	5.779.903	7.745.770	9.316.557	10.463.414	11.175.729
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétrico	0	0	143.095	1.012.497	2.179.987	3.700.423	5.622.573
Híbrido	0	0	0	0	0	0	0
COMERCIAIS LEVES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	2.912.000						
% SP	31,72						
Estado	923.686	1.334.055	1.730.462	2.117.984	2.490.763	2.858.321	3.226.092
% Diesel	26,7						
% Flex	1,3						
% Gasolina	57,8						
% Etanol	14,2						
Licenciados Estado	71.732	136.770	165.190	185.751	209.222	233.385	258.013
% Licenciados Diesel	31,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
% Licenciados Flex	33,5	62,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
% Licenciados Gasolina	34,9	13,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Licenciados Etanol	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Licenciados Diesel	22.237	34.193	41.297	46.438	52.306	58.346	64.503
Licenciados Flex	24.030	84.798	115.633	130.026	146.456	163.370	180.609
Licenciados Gasolina	25.034	17.780	8.259	9.288	10.461	11.669	12.901
Licenciados Etanol	430	0	0	0	0	0	0
Sucateados Estado	51.658	65.161	85.061	109.826	135.300	160.007	184.195
Sucateados Diesel	13.910	18.255	23.395	29.117	34.902	40.633	46.399
Sucateados Flex	747	8.809	27.967	53.910	80.039	103.414	124.161
Sucateados Gasolina	30.382	33.482	30.813	25.120	19.428	15.458	13.369
Sucateados Etanol	6.618	4.614	2.885	1.677	930	502	243
Diesel	246.230	369.046	457.476	544.977	631.648	719.562	809.251
Flex	11.975	290.502	726.727	1.130.600	1.480.814	1.792.231	2.080.391
Gasolina	534.272	540.419	429.869	336.617	278.503	250.000	241.671
Etanol	131.209	134.089	116.398	105.806	99.819	96.552	94.829

CAMINHÕES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	1.373.000						
% SP	27,55						
Estado	378.262	487.443	576.705	677.829	777.062	887.277	1.012.157
Licenciados Estado	21.125	41.596	33.502	39.383	42.753	49.873	57.210
Sucateados Estado	13.447	13.876	15.329	18.333	22.392	26.693	30.984
% Semileves	9,0	6,4	7,1	7,8	8,6	9,3	10,0
% Leves	25,5	24,7	23,8	22,8	21,9	20,9	20,0
% Médios	11,0	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,0
% Semipesados	29,3	30,7	29,6	28,4	27,3	26,1	25,0
% Pesados	25,1	27,9	29,3	30,8	32,2	33,6	35,0
Semileves diesel	33.887	30.958	40.930	53.119	66.499	82.329	101.216
Leves diesel	95.974	120.206	136.937	154.696	170.033	185.803	202.431
Médios diesel	41.444	49.815	58.778	68.852	78.523	89.194	101.216
Semipesados diesel	110.627	149.449	170.383	192.651	211.992	231.940	253.039
Pesados diesel	94.736	135.961	169.151	208.511	250.015	298.011	354.255
Caminhões Etanol	1.593	1.054	527	0	0	0	0
Caminhões Gás	0	0	0	0	0	0	0
ÔNIBUS E MICROÔNIBUS							
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
TOTAL (O+MO)	368.000						
% Ônibus	60,00						
% Microônibus	40,00	FROTA DE ÔNIBUS + MICROÔNIBUS					
% SP	31,42	148.035	159.432	172.284	187.569	205.071	223.917
ÔNIBUS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	220.800						
Estado	69.375	93.060	116.887	134.068	148.414	161.631	174.833
Licenciados Estado	2.577	7.457	5.771	5.184	5.311	5.892	6.658
Sucateados Estado	1.197	1.441	1.709	2.050	2.577	3.281	3.973
URBANO							
Diesel	55.500	74.448	93.510	107.254	118.731	129.304	139.866
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
INTERURBANO							
Diesel	13.875	18.612	23.377	26.814	29.683	32.326	34.967
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
MICROÔNIBUS (DIESEL)							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	147.200						
Estado	46.250	54.975	42.545	38.216	39.155	43.440	49.084
Licenciados Estado	1.718	4.971	3.847	3.456	3.541	3.928	4.439
Sucateados Estado	798	961	1.139	1.367	1.718	2.188	2.649
MOTOS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Estado	1.831.428	3.529.523	4.930.447	6.424.377	8.116.861	10.035.112	12.141.909
% Gasolina	100,0	100,0	99,0	98,0	98,0	98,0	98,0
% Flex	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Gasolina	1.831.428	3.529.523	4.881.143	6.295.889	7.954.523	9.834.410	11.899.071
Flex	0	0	49.304	128.488	162.337	200.702	242.838
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
População	39.769.582	41.737.337	43.258.418	44.506.843	45.560.924	46.354.451	46.802.919
Crescimento	1,16	0,85	0,64	0,53	0,43	0,29	0,13
PIB	0,00	4,32	3,39	3,32	3,22	3,07	2,90
TOTAL FROTA SP	8.264.018	10.446.199	12.483.241	14.780.565	17.328.037	20.140.021	23.204.076

Figura 43 - Planilha de dados Cenário 2.

DISTRIBUIÇÃO POR COMBUSTÍVEL							
Combustível	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Etanol	14,5	8,7	5,7	3,9	2,9	2,3	1,9
Gasolina	68,7	45,9	28,3	16,3	9,1	4,9	2,5
Flex	5,2	32,8	51,3	53,8	50,8	44,2	35,5
Diesel	8,5	9,3	9,2	9,1	8,8	8,6	8,4
GNV	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Elétrico	0,0	0,0	2,3	13,7	25,2	36,7	48,5
Híbrido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AUTOMÓVEIS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	18.360.000						
% SP	37,29						
Estado	6.846.444	8.476.667	10.016.643	11.812.468	13.872.643	16.189.352	18.741.910
Motorização	172,2	203,1	231,6	265,4	304,5	349,3	400,4
% Etanol	15,6						
% Gasolina	75,1						
% Flex	5,6						
% GNV	3,8						
Licenciados Estado	459.386	665.152	959.668	1.384.589	1.997.658	2.882.182	4.158.354
% Licenciados Etanol	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Licenciados Gasolina	44,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
% Licenciados Flex	53,2	95,5	66,2	67,7	70,0	72,8	75,9
% Licenciados Elétricos/Híbridos	0,0	0,0	29,8	28,3	26,0	23,2	20,1
Licenciados Etanol	10.566	0	0	0	0	0	0
Licenciados Gasolina	204.427	29.932	38.387	55.384	79.906	115.287	166.334
Licenciados Flex	244.393	635.220	635.091	937.410	1.397.626	2.097.400	3.154.450
Licenciados Elétricos/Híbridos	0	0	286.190	391.795	520.126	669.494	837.570
Sucateados Estado	252.333	325.364	445.387	696.686	1.096.966	1.572.540	2.042.921
Sucateados Etanol	62.231	46.542	31.103	19.184	11.106	6.154	3.320
Sucateados Gasolina	189.081	253.547	263.066	221.158	171.522	138.691	124.106
Sucateados Flex	1.020	25.274	151.218	452.467	880.546	1.298.119	1.596.207
Etanol	1.065.002	778.713	593.433	475.255	405.007	365.380	343.772
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.098.116	2.072.858	1.298.253	741.528	338.142
Flex	380.358	3.101.127	5.638.239	6.766.862	7.254.503	7.034.023	6.065.174
GNV	260.462	339.067	400.666	472.499	554.906	647.574	749.676
Elétrico	0	0	286.190	2.024.995	4.359.974	7.400.846	11.245.146
Híbrido	0	0	0	0	0	0	0
COMERCIAIS LEVES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	2.912.000						
% SP	31,72						
Estado	923.686	1.334.055	1.730.462	2.117.984	2.490.763	2.858.321	3.226.092
% Diesel	26,7						
% Flex	1,3						
% Gasolina	57,8						
% Etanol	14,2						
Licenciados Estado	71.732	136.770	165.190	185.751	209.222	233.385	258.013
% Licenciados Diesel	31,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
% Licenciados Flex	33,5	62,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
% Licenciados Gasolina	34,9	13,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Licenciados Etanol	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Licenciados Diesel	22.237	34.193	41.297	46.438	52.306	58.346	64.503
Licenciados Flex	24.030	84.798	115.633	130.026	146.456	163.370	180.609
Licenciados Gasolina	25.034	17.780	8.259	9.288	10.461	11.669	12.901
Licenciados Etanol	430	0	0	0	0	0	0
Sucateados Estado	51.658	65.161	85.061	109.826	135.300	160.007	184.195
Sucateados Diesel	13.910	18.255	23.395	29.117	34.902	40.633	46.399
Sucateados Flex	747	8.809	27.967	53.910	80.039	103.414	124.161
Sucateados Gasolina	30.382	33.482	30.813	25.120	19.428	15.458	13.369
Sucateados Etanol	6.618	4.614	2.885	1.677	930	502	243
Diesel	246.230	369.046	457.476	544.977	631.648	719.562	809.251
Flex	11.975	290.502	726.727	1.130.600	1.480.814	1.792.231	2.080.391
Gasolina	534.272	540.419	429.869	336.617	278.503	250.000	241.671
Etanol	131.209	134.089	116.398	105.806	99.819	96.552	94.829

CAMINHÕES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	1.373.000						
% SP	27,55						
Estado	378.262	487.443	576.705	677.829	777.062	887.277	1.012.157
Licenciados Estado	21.125	41.596	33.502	39.383	42.753	49.873	57.210
Sucateados Estado	13.447	13.876	15.329	18.333	22.392	26.693	30.984
% Semileves	9,0	6,4	7,1	7,8	8,6	9,3	10,0
% Leves	25,5	24,7	23,8	22,8	21,9	20,9	20,0
% Médios	11,0	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,0
% Semipesados	29,3	30,7	29,6	28,4	27,3	26,1	25,0
% Pesados	25,1	27,9	29,3	30,8	32,2	33,6	35,0
Semileves diesel	33.887	30.958	40.930	53.119	66.499	82.329	101.216
Leves diesel	95.974	120.206	136.937	154.696	170.033	185.803	202.431
Médios diesel	41.444	49.815	58.778	68.852	78.523	89.194	101.216
Semipesados diesel	110.627	149.449	170.383	192.651	211.992	231.940	253.039
Pesados diesel	94.736	135.961	169.151	208.511	250.015	298.011	354.255
Caminhões Etanol	1.593	1.054	527	0	0	0	0
Caminhões Gás	0	0	0	0	0	0	0
ÔNIBUS E MICROÔNIBUS							
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
TOTAL (O+MO)	368.000						
% Ônibus	60,00						
% Microônibus	40,00	FROTA DE ÔNIBUS + MICROÔNIBUS					
% SP	31,42	148.035	159.432	172.284	187.569	205.071	223.917
ÔNIBUS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	220.800						
Estado	69.375	93.060	116.887	134.068	148.414	161.631	174.833
Licenciados Estado	2.577	7.457	5.771	5.184	5.311	5.892	6.658
Sucateados Estado	1.197	1.441	1.709	2.050	2.577	3.281	3.973
URBANO							
Diesel	55.500	74.448	93.510	107.254	118.731	129.304	139.866
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
INTERURBANO							
Diesel	13.875	18.612	23.377	26.814	29.683	32.326	34.967
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
MICROÔNIBUS (DIESEL)							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	147.200						
Estado	46.250	54.975	42.545	38.216	39.155	43.440	49.084
Licenciados Estado	1.718	4.971	3.847	3.456	3.541	3.928	4.439
Sucateados Estado	798	961	1.139	1.367	1.718	2.188	2.649
MOTOS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Estado	1.831.428	3.529.523	4.930.447	6.424.377	8.116.861	10.035.112	12.141.909
% Gasolina	100,0	100,0	99,0	98,0	98,0	98,0	98,0
% Flex	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Gasolina	1.831.428	3.529.523	4.881.143	6.295.889	7.954.523	9.834.410	11.899.071
Flex	0	0	49.304	128.488	162.337	200.702	242.838
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
População	39.769.582	41.737.337	43.258.418	44.506.843	45.560.924	46.354.451	46.802.919
Crescimento	1,16	0,85	0,64	0,53	0,43	0,29	0,13
PIB	0,00	4,32	3,39	3,32	3,22	3,07	2,90
TOTAL FROTA SP	8.264.018	10.446.199	12.483.241	14.780.565	17.328.037	20.140.021	23.204.076

Figura 44 - Planilha de dados Cenário 3.

DISTRIBUIÇÃO POR COMBUSTÍVEL							
Combustível	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Etanol	14,5	8,7	5,7	3,7	2,3	1,2	0,4
Gasolina	68,7	45,9	28,8	18,3	10,7	5,2	1,0
Flex	5,2	32,8	47,0	33,9	23,6	15,6	9,4
Diesel	8,5	9,3	9,2	9,1	8,8	8,6	8,4
GNV	3,2	3,2	3,0	1,9	1,1	0,5	0,0
Elétrico	0,0	0,0	6,3	33,1	53,4	68,9	80,8
Híbrido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AUTOMÓVEIS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	18.360.000						
% SP	37,29						
Estado	6.846.444	8.476.667	10.016.643	11.812.468	13.872.643	16.189.352	18.741.910
Motorização	172,2	203,1	231,6	265,4	304,5	349,3	400,4
% Etanol	15,6						
% Gasolina	75,1						
% Flex	5,6						
% GNV	3,8						
Licenciados Estado	459.386	665.152	959.668	1.384.589	1.997.658	2.882.182	4.158.354
% Licenciados Etanol	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Licenciados Gasolina	44,5	4,5	3,8	2,9	1,9	1,0	0,0
% Licenciados Flex	53,2	95,5	87,3	65,5	43,6	21,8	0,0
% Licenciados Elétricos/Híbridos	0,0	0,0	8,9	31,7	54,5	77,2	100,0
Licenciados Etanol	10.566	0	-	-	-	-	-
Licenciados Gasolina	204.427	29.932	-	-	-	-	-
Licenciados Flex	244.393	635.220	-	-	-	-	-
Licenciados Elétricos/Híbridos	0	0	-	-	-	-	-
Sucateados Estado	252.333	325.364	-	-	-	-	-
Sucateados Etanol	62.231	46.542	-	-	-	-	-
Sucateados Gasolina	189.081	253.547	-	-	-	-	-
Sucateados Flex	1.020	25.274	-	-	-	-	-
Etanol	1.065.002	778.713	594.795	446.097	297.398	148.699	0
Gasolina	5.140.622	4.257.761	3.167.292	2.375.469	1.583.646	791.823	0
Flex	380.358	3.101.127	5.095.670	3.821.753	2.547.835	1.273.918	0
GNV	260.462	339.067	369.073	276.805	184.537	92.268	0
Elétrico	0	0	789.812	4.892.345	9.259.228	13.882.644	18.741.910
Híbrido	0	0	0	0	0	0	0
COMERCIAIS LEVES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	2.912.000						
% SP	31,72						
Estado	923.686	1.334.055	1.730.462	2.117.984	2.490.763	2.858.321	3.226.092
% Diesel	26,7						
% Flex	1,3						
% Gasolina	57,8						
% Etanol	14,2						
Licenciados Estado	71.732	136.770	165.190	185.751	209.222	233.385	258.013
% Licenciados Diesel	31,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
% Licenciados Flex	33,5	62,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
% Licenciados Gasolina	34,9	13,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% Licenciados Etanol	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Licenciados Diesel	22.237	34.193	41.297	46.438	52.306	58.346	64.503
Licenciados Flex	24.030	84.798	115.633	130.026	146.456	163.370	180.609
Licenciados Gasolina	25.034	17.780	8.259	9.288	10.461	11.669	12.901
Licenciados Etanol	430	0	0	0	0	0	0
Sucateados Estado	51.658	65.161	85.061	109.826	135.300	160.007	184.195
Sucateados Diesel	13.910	18.255	23.395	29.117	34.902	40.633	46.399
Sucateados Flex	747	8.809	27.967	53.910	80.039	103.414	124.161
Sucateados Gasolina	30.382	33.482	30.813	25.120	19.428	15.458	13.369
Sucateados Etanol	6.618	4.614	2.885	1.677	930	502	243
Diesel	246.230	369.046	457.476	544.977	631.648	719.562	809.251
Flex	11.975	290.502	726.727	1.130.600	1.480.814	1.792.231	2.080.391
Gasolina	534.272	540.419	429.869	336.617	278.503	250.000	241.671
Etanol	131.209	134.089	116.398	105.806	99.819	96.552	94.829

CAMINHÕES							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	1.373.000						
% SP	27,55						
Estado	378.262	487.443	576.705	677.829	777.062	887.277	1.012.157
Licenciados Estado	21.125	41.596	33.502	39.383	42.753	49.873	57.210
Sucateados Estado	13.447	13.876	15.329	18.333	22.392	26.693	30.984
% Semileves	9,0	6,4	7,1	7,8	8,6	9,3	10,0
% Leves	25,5	24,7	23,8	22,8	21,9	20,9	20,0
% Médios	11,0	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,0
% Semipesados	29,3	30,7	29,6	28,4	27,3	26,1	25,0
% Pesados	25,1	27,9	29,3	30,8	32,2	33,6	35,0
Semileves diesel	33.887	30.958	40.930	53.119	66.499	82.329	101.216
Leves diesel	95.974	120.206	136.937	154.696	170.033	185.803	202.431
Médios diesel	41.444	49.815	58.778	68.852	78.523	89.194	101.216
Semipesados diesel	110.627	149.449	170.383	192.651	211.992	231.940	253.039
Pesados diesel	94.736	135.961	169.151	208.511	250.015	298.011	354.255
Caminhões Etanol	1.593	1.054	527	0	0	0	0
Caminhões Gás	0	0	0	0	0	0	0
ÔNIBUS E MICROÔNIBUS							
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
TOTAL (O+MO)	368.000						
% Ônibus	60,00						
% Microônibus	40,00	FROTA DE ÔNIBUS + MICROÔNIBUS					
% SP	31,42	148.035	159.432	172.284	187.569	205.071	223.917
ÔNIBUS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	220.800						
Estado	69.375	93.060	116.887	134.068	148.414	161.631	174.833
Licenciados Estado	2.577	7.457	5.771	5.184	5.311	5.892	6.658
Sucateados Estado	1.197	1.441	1.709	2.050	2.577	3.281	3.973
URBANO							
Diesel	55.500	74.448	93.510	107.254	118.731	129.304	139.866
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
INTERURBANO							
Diesel	13.875	18.612	23.377	26.814	29.683	32.326	34.967
Etanol	0	0	0	0	0	0	0
Flex	0	0	0	0	0	0	0
MICROÔNIBUS (DIESEL)							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Brasil	147.200						
Estado	46.250	54.975	42.545	38.216	39.155	43.440	49.084
Licenciados Estado	1.718	4.971	3.847	3.456	3.541	3.928	4.439
Sucateados Estado	798	961	1.139	1.367	1.718	2.188	2.649
MOTOS							
Frota	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Estado	1.831.428	3.529.523	4.930.447	6.424.377	8.116.861	10.035.112	12.141.909
% Gasolina	100,0	100,0	99,0	98,0	98,0	98,0	98,0
% Flex	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Gasolina	1.831.428	3.529.523	4.881.143	6.295.889	7.954.523	9.834.410	11.899.071
Flex	0	0	49.304	128.488	162.337	200.702	242.838
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
População	39.769.582	41.737.337	43.258.418	44.506.843	45.560.924	46.354.451	46.802.919
Crescimento	1,16	0,85	0,64	0,53	0,43	0,29	0,13
PIB	0,00	4,32	3,39	3,32	3,22	3,07	2,90
TOTAL FROTA SP	8.264.018	10.446.199	12.483.241	14.780.565	17.328.037	20.140.021	23.204.076

Figura 45 - Planilha de dados Cenário Compulsório.