

AUGUSTO POLIQUEZI NETO

**METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO ENERGÉTICO  
ESTADUAL DE LONGO PRAZO**

CURITIBA

2013



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AUGUSTO POLIQUEZI NETO**

**METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO ENERGÉTICO**  
**ESTADUAL DE LONGO PRAZO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas de Energia

Orientador: Prof. Clodomiro Unsihuay Vila, D.Sc.

**CURITIBA**

**2013**

---

P768m Poliquezi Neto, Augusto  
Metodologia para planejamento energético estadual de longo prazo /  
Augusto Poliquezi Neto. – Curitiba, 2013.  
164f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2013.

Orientador: Clodomiro Unsihuay Vila.  
Bibliografia: p. 153-157.

1. Política energética - Paraná. 2. Energia - Consumo - Paraná. 3.  
Desenvolvimento sustentável. I. Universidade Federal do Paraná. II. Vila,  
Clodomiro Unsihuay. III. Título.

CDD: 333.72

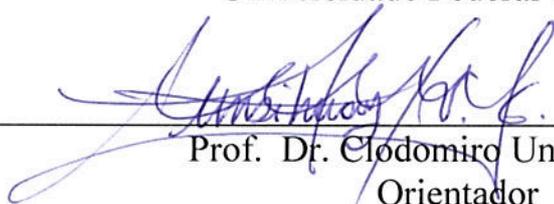
---

---

**METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO ENERGÉTICO ESTADUAL  
DE LONGO PRAZO**

AUGUSTO POLIQUEZI NETO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre no Programa de Pós-Graduação em engenharia elétrica na  
Universidade Federal do Paraná

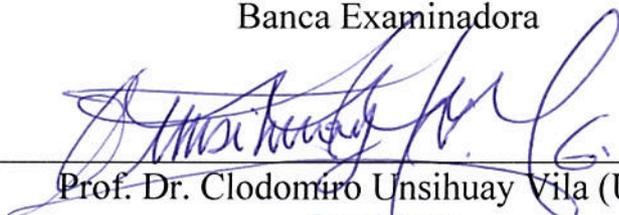


Prof. Dr. Clodomiro Unsihuay Vila  
Orientador



Prof. Dr. Evelio Martín García Fernández  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora



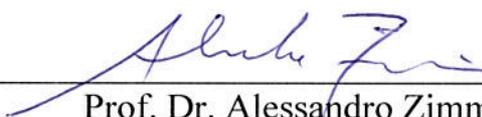
Prof. Dr. Clodomiro Unsihuay Vila (UFPR)  
Presidente



Prof. Dr. Amaro Olimpio Pereira Junior (COPPE/UFRJ)



Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki (UFPR/LACTEC)



Prof. Dr. Alessandro Zimmer (UFPR)

Curitiba, 15 de fevereiro de 2013

*À minha esposa Elisa, aos meus pais Augusto e Maria Cristina, à minha vó Alvarina e ao meu irmão Rodrigo, pelo amor, compreensão e incentivo à medida de suas possibilidades.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa e família pela sempre compreensão diante dos momentos de ininterrupto estudo, em fins de semana e feriados dos quais pouco pudemos desfrutar juntos nos últimos dois anos, mas que foram parte muito importante nesta jornada.

Aos colegas de trabalho e amigos de longa data, que também na medida de suas possibilidades estiveram envolvidos e apoiaram este trabalho acadêmico, que por fim foi também um trabalho pessoal e profissional.

A todos os professores que colaboraram na minha formação, especialmente os professores Alexandre Rasi Aoki, Andrea Costa e Annemarlen Gehrke Castagna, os quais acreditaram em mim e creditam isso por meio de suas cartas de recomendação, e a quem devo inclusive parte dos resultados aqui apresentados.

Ao meu orientador Clodomiro Unsihuay Vila, com quem nos últimos dois anos tive a imensa oportunidade de trocar experiências e adquirir conhecimentos ímpares na área de energia, e juntos construímos este trabalho de referência e inédito para o estado do Paraná.

*Toda reforma interior e toda mudança para melhor dependem exclusivamente da aplicação do nosso próprio esforço.*

*Immanuel Kant*

## RESUMO

O Planejamento energético de longo prazo é uma ferramenta de grande utilidade para projeções e avaliações conjecturais sobre a matriz energética de um país, estado ou região, embora ainda seja pouco estudado e disseminado no Brasil em âmbito estadual. Por tratar de projeções sobre oferta e demanda energética, está intrinsecamente relacionado à sociedade e seus índices de desenvolvimento e evolução em aspectos econômicos e culturais. Trata-se de uma atividade de grande complexidade face ao grande número de variáveis envolvidas, às mudanças políticas, econômicas, socioambientais e tecnológicas ao longo do tempo, além das incertezas embutidas nas diversas metodologias empregadas na obtenção de projeções de demanda e oferta de energia. Nesta dissertação é proposta uma metodologia para o desenvolvimento do planejamento energético estadual de longo prazo. A metodologia foi aplicada para a elaboração de um plano de energia de longo prazo (2040) para o estado de Paraná-PPE2040. A metodologia proposta consiste em prospectar a oferta e demanda de energia de longo prazo através da elaboração de cenários, contemplando aspectos energéticos, econômicos, políticos, tecnológicos e ambientais do estado em questão, considerando as incertezas inerentes às referidas variáveis, e propondo cenários alternativos baseados em premissas de evolução para cada setor. Para a simulação dos cenários da oferta e demanda de energia, num horizonte considerado, a metodologia proposta sugere a utilização dos modelos computacionais MAED (*Model Analysis on Energy Demand*) e MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General*), respectivamente. Foram construídos cenários macroeconômicos, socioeconômicos e tecnológicos relacionados à oferta e demanda de energia no estado de Paraná. A partir dos resultados avaliados pode-se notar uma redução de consumo de energia nos quatro setores da economia analisados, à medida que os anos se passam se acentuam mais os resultados destas reduções, tendo como principal meio de propagação as medidas de eficiência energética apresentadas nas premissas de formação do cenário alternativo. Os resultados deste planejamento energético pretendem contribuir na orientação da formulação de políticas energéticas de longo prazo no âmbito estadual, e possibilitar melhor entendimento das dinâmicas de produção e consumo de energia no estado como um todo, proporcionando cenários analíticos que possibilitem a regionalização dos potenciais energéticos, ou ainda sirva para a elaboração e suporte à tomada de decisão de políticas públicas estaduais visando um desenvolvimento sustentável.

**Palavras Chave.** Planejamento energético de longo prazo. Matriz energética. Balanço energético. Plano estadual de energia. Desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

The long-term energy planning is a very useful tool for conjectural evaluations about the energy mix of a country, state or region, although it has been less studied and disseminated to apply in the Brazilian states. By dealing with projections of energy supply and demand, it is intrinsically related to society and their rates of development and progress in economic and cultural aspects. It represents an activity of great complexity due to the huge number of variables involved over the time, such as political, economical, environmental and technological variables. Moreover, the various methodologies uncertain used to obtain projections of demand and supply of energy also have contributed to this complexity. This thesis proposes a methodology for the development of a long term state energy planning. The methodology was applied to the preparation of a plan for long-term energy (2040) for the state of Paraná-PPE2040. The proposed methodology consists of prospecting the supply and demand for the long-term energy through the development of scenarios, covering energy, economic, political, technological and environmental state aspects, taking into account the uncertainties inherent in those variables, and proposing alternative scenarios based on the assumptions for each sector. The proposed methodology suggests, in order to obtain the scenarios of supply and energy demand in a considered horizon, the use of computational models MAED (Model Analysis on Energy Demand) and MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and Their General), respectively. Macroeconomic, socioeconomic and technological scenarios related to the supply and demand of electricity in the state of Paraná were created. From the evaluated results may notice a reduction of energy consumption in the four sectors of the economy analyzed, which increases over the years, due mainly to the energy efficiency policies presented in the alternative scenario. The results of this energy planning intended to contribute in the formulation of long-term energy policies, to allow better understanding about the dynamics of energy production and consumption in the state level, to provide analytical scenarios that enable regionalization of potential energy, or to support the decision making of state public policies aimed at sustainable development.

**Keywords:** Long term energy planning, Energy matrix, Energy balance, State energy plan, Sustainable development.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO .....	30
FIGURA 02 – CENÁRIOS DE CONSUMO LONGO PRAZO JORDÂNIA .....	38
FIGURA 03– LÓGICA DE INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS MAED E MESSAGE .....	45
FIGURA 04 –VARIAÇÃO PREÇOS DO PETRÓLEO MERCADO MUNDIAL .....	56
FIGURA 05 – EQUIVALÊNCIAS FÍSICO QUÍMICAS ENTRE PADRÕES DE PETRÓLEO .....	57
FIGURA 06 – EVOLUÇÃO PREÇOS BARRIL PETRÓLEO LONGO PRAZO .....	61
FIGURA 07 – METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO ESTADUAL PROPOSTA.....	64
FIGURA 08 – FLUXOGRAMA COMPLETO DO PLANJEMANENTO ENERGÉTICO ESTADUAL .....	65
FIGURA 09 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	69
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	72
FIGURA 11 – COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE TABELAS CNAE, IBGE E BEN.....	76
FIGURA 12 – COMPATIBILIZAÇÃO FINAL IBGE X BEN .....	76
FIGURA 13 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	77
FIGURA 14 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	80
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	85
FIGURA 16 – CADEIA DE ENERGETICOS COMPLETA DO PARANA 2009 .....	89
FIGURA 17 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA PRIMÁRIA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO .....	91
FIGURA 18 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SECUNDÁRIA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO .....	91
FIGURA 19 – ORGANOGRAMA REPRESENTATIVO DO PROGRAMA PR BIOENERGIA.....	94
FIGURA 20 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE BIOENERGIA .....	97
FIGURA 21 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ELETRICIDADE .....	101
FIGURA 22 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA SECUNDARIA PARA ELETRICIDADE.....	101
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	102
FIGURA 24 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA.....	107
FIGURA 25 – METAS DE REDUCAO EM EFICIÊNCIA ENERGETICA LONGO PRAZO .....	113
FIGURA 26 – DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA.....	118
FIGURA 27– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO OTIMISTA .....	119
FIGURA 28 – DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO B .....	121
FIGURA 29 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO PER CAPITA ENTRE CENÁRIOS .....	122
FIGURA 30 – EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL ENTRE CENÁRIOS .....	122
FIGURA 31– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO .....	124

FIGURA 32– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO A .....	125
FIGURA 33– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO B .....	127
FIGURA 34– EVOLUÇÃO DO CONSUMO PER CAPITA CENARIO ALTERNATIVO .....	128
FIGURA 35– EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL CENARIO ALTERNATIVO .....	129
FIGURA 36 - GRÁFICO DEMANDA FINAL POR SETOR DA ECONOMIA REFERENCIA ....	130
FIGURA 37 –GRÁFICO DEMANDA FINAL POR SETOR DA ECONOMIA ALTERNATIVO ..	131
FIGURA 38 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR INDUSTRIAL .....	131
FIGURA 39 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR TRANSPORTES .....	132
FIGURA 40 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR SERVIÇOS .....	132
FIGURA 41 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR RESIDENCIAL .....	133
FIGURA 42 –EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA POR ENERGETICO .....	134
FIGURA 42a –EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTIVEIS FOSSEIS.....	134
FIGURA 43 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA ENERGETICO .....	POR 135
FIGURA 44 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTIVEIS FOSSEIS .....	136
FIGURA 45 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA ENERGETICO .....	POR 138
FIGURA 45a – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTIVEIS FOSSEIS.....	138
FIGURA 46 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTIVEIS FOSSEIS .....	139
FIGURA 47 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTIVEIS FOSSEIS .....	141
FIGURA 48 – EVOLUÇÃO ENERGÉTICA FINAL.....	141
FIGURA 49 – RESUMO ENTRE CENÁRIOS.....	142
FIGURA 50 –CONSUMO PER CAPITA GLOBAL DO PARANA .....	143
FIGURA 51 –INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL DO PARANA .....	144
FIGURA 52 – EVOLUÇÃO ENERGÉTICA FINAL CENÁRIO REFERÊNCIA .....	145
FIGURA 53 – EVOLUÇÃO ENERGÉTICA FINAL CENÁRIO ALTERNATIVO.....	145
FIGURA 01A– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 .....	158
FIGURA 02A– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 OTIMISTA .....	160
FIGURA 03A– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 PESSIMISTA ....	162
FIGURA 04A– EVOLUÇÃO DO CONSUMO PER CAPITA ENTRE CENÁRIOS .....	163
FIGURA 05A– EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL ENTRE CENARIOS .....	163

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO TOTAL DO PARANÁ 2000/2005/2010 .....	70
TABELA 02 – QUANTIDADE DE DOMICÍLIOS TOTAL DO PARANÁ 2000/2005/2010.....	71
TABELA 03 – FORÇA DE TRABALHO NO PARANÁ 2000/2005/2010.....	71
TABELA 04 – PARTICIPAÇÃO NO PIB POR ESTADO (%).....	78
TABELA 05 – PIB POR SETOR DA ECONOMIA DO ESTADO .....	79
TABELA 06 – PARCELA DO PIB POR SETOR DA ECONOMIA DO ESTADO .....	79
TABELA 07 – FATORES DE CONVERSÃO PARA ENERGIA.....	81
TABELA 08 – CONSUMO ENERGÉTICO DESAGREGADO PARANÁ POR SETOR.....	82
TABELA 09 –EXEMPLO BALANÇO DO CONSUMO POR TIPO DE ENERGÉTICO.....	83
TABELA 10 – PENETRAÇÃO DOS ENERGÉTICOS POR SETOR EM 2010 .....	84
TABELA 11 – OFERTA DE ENERGIA PRIMÁRIA POR TIPO DE FONTE.....	87
TABELA 12 –CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL POR ESTADO .....	95
TABELA 13 –USINAS EM OPERAÇÃO NO PARANÁ .....	97
TABELA 14 –USINAS EM CONSTRUÇÃO NO PARANÁ.....	98
TABELA 15 –TERMELETRICAS DE COGERAÇÃO NO PARANÁ.....	98
TABELA 16 – TERMELÉTRICAS EM OPERAÇÃO NO PARANÁ .....	99
TABELA 17 – POTENCIAL EÓLICO NO PARANÁ .....	100
TABELA 18– RESULTADOS DEMANDA REALIZADA BALANÇO 2000/2010 .....	104
TABELA 19– RESULTADOS DEMANDA PROJETADA COM MAED 2000/2010 .....	104
TABELA 20 – RESULTADOS OFERTA REALIZADA OU REAL - BALANÇO 2000/2010 .....	106
TABELA 21 – RESULTADOS OFERTA PROJETADA MESSAGE 2000/2010 .....	106
TABELA 22 – TAXA DE CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO PROJETADA EM LONGO PRAZO .....	114
TABELA 23– PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA.....	117
TABELA 24 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO REFERÊNCIA.....	118
TABELA 25– PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO A .....	119
TABELA 26 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO A .....	119
TABELA 27 – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO B.....	120
TABELA 28 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO B.....	121
TABELA 29 – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO .....	123
TABELA 30 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO ..	124
TABELA 31 –PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO A .....	125
TABELA 32 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO A .....	126
TABELA 33 – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO B .....	127

TABELA 34 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO B .....	128
TABELA 35 – EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA.....	133
TABELA 36 – EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA A....	135
TABELA 37 – EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA B ....	136
TABELA 38 – OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO.....	137
TABELA 39 – OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO A.....	139
TABELA 40 – OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO B .....	140
TABELA 01A – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02.....	158
TABELA 02A – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO 02.....	159
TABELA 03A –PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 OTIMISTA.....	160
TABELA 04A – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO 02 OTIMISTA.....	161
TABELA 05A – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 PESSIMISTA .....	161
TABELA 06A – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO 02 PESSIMISTA .....	162

## LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
BEN – Balanço Energético Nacional  
BEP – Balanço Energético do Paraná  
CGH – Central Geradora Hidrelétrica  
CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico  
CNPE – Conselho Nacional de Política Energética  
COPEL – Companhia Paranaense de Energia  
CORECON – Conselho Regional de Economia  
COPPE/UFRJ – Programa de Planejamento Energético  
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas  
CREA – Conselho Regional de Arquitetura e Engenharia  
CO – Centro-oeste  
EE – Eficiência Energética  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
EOL – Usina Eólica  
FIEP – Federação Das Indústrias do Estado do Paraná  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social  
IEP – Instituto de Engenharia do Paraná  
kWh – Kilowatts hora  
LEAP – Long-range Energy Alternatives Planning System  
MME – Ministério de Minas e Energia  
MAED – Model Analyses on Energy Demand  
MESSAGE – Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact  
MCMLP – Modelo de consistência macroeconômica de longo prazo  
MEDEE – Modele de Evaluation de la Demande Energétique  
MELP – Modelo do setor elétrico de longo prazo  
MIPE – Modelo Integrado de planejamento energético  
MME – Ministério de Minas e energia  
M-REF – Modelo de consistencia de refino  
MSR – Modelo de consistencia do setor residencial  
MWh – Megawatts hora  
N – Norte  
NE – Nordeste  
ONS – Operador Nacional do Sistema  
PCH – Pequena Central Hidrelétrica  
PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNE 2030 – Plano Nacional de Energia 2030

PNEF – Plano Nacional de Eficiência Energética  
PROCEL – Programa de Conservação de Energia Elétrica  
PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
S – Sul  
SE – Sudeste  
SIN – Sistema Interligado Nacional  
TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná  
Toe – Tons of Oil Equivalent  
UFPR – Universidade Federal do Paraná  
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá  
UTE – Usina Termoelétrica  
UHE – Usina Hidrelétrica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1.	Contexto	17
1.2.	Objetivo Geral	20
1.3.	Objetivos Específicos	21
1.4.	Justificativa	21
1.5.	Metodologia	23
1.6.	Estrutura da Dissertação	24
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>27</b>
2.1.	Aspectos conceituais e metodológicos do planejamento energético	27
2.2.	Planejamento energético de longo prazo no Brasil	30
2.3.	Exemplos de Planejamento energético em outros países	37
2.4.	O modelo MAED	42
2.5.	O modelo MESSAGE	43
2.6.	Relação entre os modelos MAED e MESSAGE	45
2.7.	Formulações matemáticas do MAED para projeções de longo prazo	47
2.7.1.	Formulações dos Cálculos Demográficos	48
2.7.2.	Formulações dos cálculos macroeconômicos	49
2.7.3.	Formulações da demanda de energia - setor industrial	51
2.7.4.	Formulações da demanda de energia - setor de transportes	53
2.7.5.	Formulações da demanda de energia - setor residencial	54
2.7.6.	Formulações da demanda de energia - setor de serviços	55
2.8.	Considerações sobre formação de preços de energia	56
2.8.1.	Análise dos preços e tecnologias de produção de energia	57
2.8.2.	Avaliação dos custos futuros de energia	59
2.9.	Considerações Finais do Capítulo	61
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b>	<b>63</b>
3.1.	Elaboração da metodologia do plano energético estadual de longo prazo	63
3.2.	Formação do ano base e cenários	66
3.2.1.	Levantamento dos dados demográficos	70
3.2.2.	Levantamento dos Dados Macroeconômicos	72
3.2.3.	Levantamento dos dados para demanda de energia	80
3.2.4.	Levantamento dos dados para a oferta de energia	85
3.2.4.1.	Formatação da cadeia energética no modelo de oferta	86
A)	Aspectos considerados para a oferta de petróleo e derivados	90
B)	Aspectos considerados para a oferta de bioenergia	92
C)	Aspectos considerados para a oferta de eletricidade	97
3.4.2.2.	Avaliação da oferta observada para projeções	101
3.5.	Validação das projeções e premissas nos modelos	102
3.5.1.	Validação do modelo de demanda	104
3.5.2.	Validação do modelo de oferta	105
3.6.	Cenários de projeção de longo prazo	108
3.6.1.	Formação do cenário de referência	110
3.6.2.	Formação do cenário alternativo	112
3.7.	Considerações finais do capítulo	115

<b>4.</b>	<b>PROJEÇÕES DE DEMANDA E OFERTA NO LONGO PRAZO</b>	<b>117</b>
4.1.	Projeções de demanda - cenário de referência	117
4.1.1.	Projeções de demanda - cenário de referência A	118
4.1.2.	Projeções de demanda - cenário de referência B	120
4.1.3.	Avaliação dos indicadores de evolução energética cenário de referência	121
4.2.	Projeções de demanda cenário alternativo	123
4.2.1.	Projeções de demanda - cenário alternativo A	125
4.2.2.	Projeções de demanda - cenário alternativo B	126
4.2.3.	Evolução dos indicadores de consumo cenário alternativo	128
4.3.	Comparação da demanda nos setores - cenário referência versus alternativo	129
4.4.	Projeções de oferta - cenário referência	133
4.4.1.	Oferta de energia cenário de referência A	135
4.4.2.	Projeções de oferta - cenário referência B	136
4.5.	Projeções de oferta cenário alternativo	137
4.5.1.	Projeções de oferta cenário alternativo A	139
4.5.2.	Projeções de oferta - cenário alternativo B	140
4.6.	Discussão dos Resultados	141
4.7.	Considerações Finais do Capítulo	146
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>148</b>
5.1.	Contribuição dos resultados para o planejamento energético de longo prazo	149
5.2.	Propostas para Trabalhos Futuros	151
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>153</b>
	<b>APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DE SENSIBILIDADE CENÁRIOS ALTERNATIVOS</b>	<b>158</b>
A.1	Projeções de demanda cenário alternativo	158
A.2	- Projeções de demanda - Cenário Alternativo 02 Otimista	159
A.3	- Projeções de demanda - Cenário Alternativo Pessimista	161
A.4	– Avaliação da Sensibilidade entre Cenários Alternativos	162

## 1 INTRODUÇÃO

Em todos os países o uso de energia representa um dos principais fatores do crescimento econômico, sendo que o Brasil e seus estados não são uma exceção. Como resultados disso, as políticas que afetam o setor energético têm um impacto sobre toda a economia e o meio ambiente dos estados, e conseqüentemente do País. Estes impactos tornam imprescindível que se disponha de um modelo capaz de estimar os impactos das distintas políticas sobre a economia no setor energético, no meio ambiente, e as suas interações entre elas.

Diversas razões colocam a energia como vetor do desenvolvimento sustentável, sem dúvida pelo caráter universal da energia nas sociedades, uma vez que é necessária em todas as etapas, como a produção e consumo, nos transportes e serviços, entre outras atividades, cada qual em diferentes formas e quantidades.

As variações no consumo ocorrem de acordo com alguns fatores, como por exemplo questões geográficas (clima, localização), sociais (valores, costumes, preferências) e as econômicas (rendimentos, acesso às tecnologias). As pessoas então escolhem um conjunto de bens e serviços para satisfazer as suas necessidades e que estejam de acordo com suas condições sociais, que vão desde alimentação a conforto ambiente, passando por mobilidade e questões culturais (MME, 2008).

Assim, entre as atividades que demandam energia considera-se: cozinhar, iluminação, ar condicionado, comunicação e entretenimento, dispositivos e veículos, outros equipamentos e prestação dos serviços. A fabricação de bens de consumo e prestação de serviços, por sua vez, requer outra grande variedade de ferramentas e equipamentos (como metalúrgicas, fábricas de montagem, entre outros), e sua operação também requer energia (MME, 2008).

A produção de energia parte de fontes primárias como o carvão, petróleo, água, vento, entre outros. Estes recursos são transformados nas usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares, e disponibilizados em forma de energia secundária para entrega aos centros de consumo. A energia secundária assume formas diferentes, como eletricidade, gasolina, vapor, calor,

e alimenta em redes de distribuição como as redes de eletricidade, gás, os veículos, os sistemas de calor de processo. No final de todo sistema, o consumidor recebe a energia na forma que necessita, chamada de energia útil (AIEA, 2006).

A prospecção da oferta das diversas fontes de energia num horizonte de médio e longo prazo é uma das mais importantes e complexas atividades na área de planejamento energético, face ao grande número de variáveis envolvidas, às mudanças políticas, econômicas, socioambientais e tecnológicas ao longo do tempo, além das incertezas embutidas nas diversas metodologias empregadas na obtenção de projeções de demanda e oferta de energia.

### **1.1. Contexto**

Até meados de 1960 os modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos eram quase todos setoriais, com modelagens separadas da demanda, empregando técnicas econométricas, e da oferta, usando técnicas relativamente simples de simulação ou programação matemática. Os setores estudados eram o elétrico, o de petróleo e gás, e, em alguns países, o de carvão (SILVA, 2007).

O desafio das projeções da demanda e oferta de energia é tentar capturar as principais tendências do mercado. O impacto da percepção mundial quanto à dependência do petróleo levou o mundo todo, pela primeira vez, a abordar o planejamento energético de uma perspectiva multissetorial, ou seja, integrando os setores elétrico e petrolífero. Além disso, buscou-se uma maior interação entre oferta e demanda nos planos para o setor (SILVA, 2007).

A importância do Planejamento energético foi sendo percebida ao longo dos anos, devido principalmente à necessidade de garantir a continuidade no fornecimento de energia, com redução de custos e riscos, e assegurando menores impactos socioeconômicos e ambientais. Sendo que a falta do planejamento pode incorrer em reflexos negativos ao longo dos anos, como por exemplo no caso do racionamento energético de 2001 ocorrido no Brasil, que entre outros diversos fatores, pode ter sido ocasionado também

devido a sensibilidade à variação dos preços internacionais de energia e à composição pouco diversificada da Matriz Energética.

O planejamento energético em nível estadual teve seu destaque devido ao impacto do racionamento de 2001, quando se observou o caráter estratégico que desta ferramenta no sentido reduzir vulnerabilidades em questões energéticas, tendo em vista principalmente a perda de arrecadação fiscal dos estados devida à redução das atividades econômicas imposta pelo racionamento. Ao disporem de estudos consolidados de sua matriz energética, os estados aumentam sua capacidade de influenciar o planejamento energético nacional (GEMG, 2007).

No âmbito nacional a Lei 9.478/97, que dispõe sobre a política energética nacional, institui-se por meio de seu artigo II, o Conselho Nacional de Política Energética - CNPE, que tem dentre suas atribuições nos incisos destacados abaixo (GOV, 1997):

*“II - assegurar, em função das características regionais, o suprimento de insumos energéticos às áreas mais remotas ou de difícil acesso do País, submetendo as medidas específicas ao Congresso Nacional, quando implicarem criação de subsídios;*

*III - rever periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do País, considerando as fontes convencionais e alternativas e as tecnologias disponíveis.”.*

Essas atribuições reforçam a necessidade de tornar periódica a revisão da matriz energética como uma imposição legal. Sob a égide da Lei 9.478/97, o CNPE já revisou três vezes as projeções da matriz energética nacional. Empresa de Pesquisa Energética - EPE realizou recentemente uma nova revisão da matriz energética nacional intitulada “Plano Nacional de Energia 2030 - PNE 2030” (GEMG, 2007).

*“A EPE é uma empresa pública, instituída nos termos da Lei n° 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto n° 5.184, de 16 de agosto de 2004. Sua finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência*

*energética, dentre outras. A Lei nº 10.847, em seu Art. 4º, inciso II, estabelece entre as competências da EPE a de elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional – BEN. (MME, 2012).”*

Mesmo sem o devido amparo legal similar para as matrizes energéticas estaduais, o estado do Rio de Janeiro, por exemplo, já realizou duas revisões de matriz energética estadual, nos anos de 1999 e 2004. Estas iniciativas denotam a relevância de se planejar a demanda e oferta energética estadual, para que se possam realizar as devidas mobilizações de infra-estrutura e de regulação, além de programas estaduais sólidos que amparem e permitam a execução destas, sem perder o foco principal de garantir o fornecimento energético compatível com o crescimento da demanda.

O PNE 2030 não contempla projeções por unidade federativa, e o Estado do Paraná desde 1990 não mais elaborou planejamento de longo prazo para sua matriz energética, trabalho este que é vital para o planejamento público e para formulação de políticas públicas no setor energético. Recentemente foi criado, num âmbito estadual, o Fórum Nacional de Secretários de Estado para Assuntos de Energia – FNSE, que visa propor alternativas e defende a necessidade de se desenvolver um planejamento descentralizado a nível estadual (FNSE,2010).

O planejamento do setor energético, seja este nacional ou estadual, é fundamental para assegurar a continuidade do abastecimento e/ou suprimento de energia ao menor custo, com o menor risco e com os menores impactos sócio-econômicos e ambientais para a sociedade (EPE,2007).

O processo de planejamento energético é extremadamente complexo, devido à consideração simultânea que deve ser feita entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Além disso existem as complexidades associadas à forma de organização dos dados pelos organismos de cada estado, uma vez que não existe um padrão entre eles, tornando assim mais complexo o trabalho de organização de uma base de referência (FNSE,2010).

O planejamento estratégico, seja este com abrangência mono setorial ou multi-setorial de um determinado país, estado ou município, visando questões de desenvolvimento sustentável, motivou o desenvolvimento de diversos modelos computacionais cada qual com seus atributos e aplicações

específicas. Um dos modelos mais abrangentes são os denominados modelos computáveis de equilíbrio geral, pois tentam considerar todos os sectores da sociedade: energia, meio ambiente, economia, sociedade, etc.

O objetivo dos modelos é tentar projetar possíveis impactos no futuro das atividades dos setores da sociedade e de políticas públicas, facilitando no presente a procura e análise das soluções mediante o estudo das interações entre estes mesmos setores e cenários macroeconômicos, sociais, ambientais e políticos plausíveis (MUNA, 1993).

Tanto no PNE quanto nos demais planos estaduais de Planejamento energético, os indicadores são resumidos às questões de demanda e oferta de energia, sendo que existe ainda uma lacuna no tocante ao impacto dos planos de energia no mercado de trabalho, principalmente na oferta de empregos associada à diversificação da matriz energética, e também a questão de supressão de postos de trabalho em função da penetração de novas tecnologias para produção de energia.

Estas questões sociais não abordadas no PNE, são de igual importância para a composição do planejamento como um todo, principalmente na elaboração de políticas públicas de inserção de novas tecnologias na produção de energia, e na avaliação dos impactos destas políticas sobre as questões de crescimento econômico e da dinâmica dos empregos criados ou suprimidos pelas novas tendências.

Em linhas gerais cabe ao planejamento analisar diferentes contextos macroeconômicos, sociais, ambientais e políticos, possíveis de ocorrerem no médio a longo prazo, e sobre os quais os órgãos governamentais atualmente não detém o controle. É neste contexto que se situam, por exemplo, as já tradicionais projeções de crescimentos da economia, cenários envolvendo melhorias na distribuição de renda, ou incrementos na competitividade da indústria local, além de cenários de mudanças climáticas (BAJAY, 2004).

## **1.2. Objetivo Geral**

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver uma metodologia para o desenvolvimento do planejamento energético estadual de longo prazo e aplicá-

la para a elaboração de um plano de energia de longo prazo (2040) para o estado do Paraná-PPE2040.

### **1.3. Objetivos Específicos**

No intuito de atingir o objetivo do estudo para resolução de problemas relacionados ao planejamento energético de longo prazo, são objetivos específicos os delineados e citados abaixo:

- Apresentar a situação atual dos modelos de planejamento utilizadas no Brasil e no mundo para a projeção da oferta e demanda de energia;
- Estudar a abrangência da aplicação dos Modelos MAED e MESSAGE, delimitando estes aos cenários disponíveis no Estado do Paraná, tendo este como estudo de caso para aplicação do modelo de planejamento estadual;
- Elaborar uma base de dados Macroeconômicos, Socioeconômicos e Tecnológicos atualizados, a fim de alimentar os modelos;
- Validar o modelo de planejamento energético estadual por meio de técnicas já consolidadas para validação de projeções estatísticas;
- Propor cenários alternativos de longo prazo para aplicação das técnicas de planejamento e avaliação da projeção de demanda e oferta;
- Apresentar e avaliar as projeções de demanda e oferta de energia no longo prazo e os indicadores da evolução energética estadual.

### **1.4. Justificativa**

Tendo em vista a complexidade do sistema energético, e a real necessidade de se estabelecer um modelo de planejamento de longo prazo, seja ele Nacional, Estadual ou Regional, é importante seguir analisando os

diferentes atores responsáveis pela evolução do setor e suas implicações tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda.

Ainda em 2010 o FNSE propôs alternativas e defendeu a necessidade de se desenvolver um planejamento descentralizado em nível estadual. Intitulado “Descentralização e Participação – Planejamento e Gestão do Setor Energético Brasileiro”.

Como já mencionado anteriormente, o plano nacional de energia elaborado pela EPE chega de certa forma imposta pelo governo federal, e cabe a cada estado aceitar as diretrizes estabelecidas pelo governo com poucas margens de ajustes para atender suas necessidades. É preciso que os estados participem da formulação do planejamento energético, desde a sua fase embrionária até a sua divulgação pública visando um desenvolvimento energético sustentável num contexto nacional e estadual ou regional (POLIQUEZI, 2012).

A necessidade de elaborar planos de energia em nível estadual já foi percebida e executada por outros estados do Brasil. Estados como o Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, por exemplo, já puseram em prática os projetos em parceria com as instituições federais e também por meio de suas agências de energia (MME, 2008).

A energia num âmbito global exerce um papel fundamental para a sociedade de um país ou região, atuando como elemento primordial para a inclusão social com desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, para a melhoria na qualidade de vida da população. Neste sentido a retomada das competências do Estado no planejamento energético é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentado (MME, 2008).

O planejamento energético serve como ferramenta de apoio na formulação de políticas públicas e elaboração de referências e diretrizes, indicativas ou normativas, para os agentes que atuam na indústria de energia, e como balizadora para órgãos reguladores, governamentais, agentes públicos e privados na mensuração de indicadores de eficiência, qualidade, e de meio ambiente (BAJAY, 2004).

A elaboração deste plano é um passo inicial para um exercício permanente de prospecção de longo prazo de energia em âmbito estadual. A velocidade dos avanços tecnológicos e das mudanças nos cenários

socioeconômicos, associada às variações demográficas, implica na continuidade das avaliações realizadas e na proposição contínua de novas ações que motivem a competência técnica em planejamento energético.

### **1.5. Metodologia**

A formulação de longo prazo será baseada nas metodologias de cenários macroeconômicos, socioeconômicos e tecnológicos, que são desenvolvidos e aplicados nos modelos citados, através dos indicadores a serem apresentados ao decorrer dos estudos.

Inicialmente, foi feita uma pesquisa nas bases de dados das instituições que organizam e publicam os dados relacionados aos aspectos macroeconômicos, socioeconômicos e tecnológicos, de forma a formatar a base de dados necessária à modelagem por meio do MAED e MESSAGE.

Após o levantamento dos dados e tabulação dos mesmos visando a alimentação dos modelos, iniciou-se propriamente o estudo da aplicação dos modelos, através da avaliação da aplicação dos mesmos em outros países e regiões, visando a compreensão e dinâmica de utilização dos mesmos.

Para o estudo do modelo MAED e MESSAGE foram consultadas bases de informações nacionais e internacionais, que são apresentadas ao decorrer da revisão bibliográfica. Notadamente a aplicação destes modelos ainda é pouco difundida no Brasil, menos ainda no Paraná, o que implicou em uma dificuldade adicional à medida que as formulações e bases de dados foram sendo complementadas.

Após as leituras e dados dos modelos partiu-se definitivamente para a modelagem dos cenários propostos, levando em conta as projeções apresentadas nos âmbitos nacional e estadual que projetam cenários de longo prazo, e para os casos onde não existem projeções foram feitas tendências de acordo com os dados obtidos de anos passados.

O aspecto relevante e que não é observado nos outros países e estados que realizaram planejamento de longo prazo, e que foi introduzido ao estudo do Paraná através desta dissertação, é a apresentação de cenários de referência e cenários alternativos, divididos em situações otimista e pessimista, levando em conta a inserção da eficiência energética no longo prazo como situação

alternativa à que ocorre normalmente, criando assim a diferenciação entre o cenário de referência e o alternativo.

Nestes cenários são expostas condições relacionadas aos aspectos macroeconômicos, socioeconômicos e tecnológicos, e que levam em conta as dinâmicas destes setores e projetam as demandas e ofertas de energia, por setor e por tipo de fonte energética respectivamente.

Outros indicadores importantes elaborados a partir da base de dados foram a Intensidade Energética Global e o Consumo *Per capita* do Estado, que apresentam informações importantes para comparação de resultados com outros estados e países que já fizeram seus estudos de planejamento.

Uma abordagem mais detalhada da metodologia proposta nesta dissertação é descrita no capítulo 3 denominado de matérias e método.

## **1.6. Estrutura da Dissertação**

A estrutura do documento inicia com o capítulo 1 denominado de introdução, que traz a visão geral do tema e o contexto em que está inserido, além dos objetivos e da justificativa e metodologia sugeridas para aplicação, bem como da descrição sucinta dos capítulos que compõem o documento de dissertação.

Em seguida, no capítulo 2, são expostas as fundamentações teóricas que dão base ao documento, sendo que para tal foi elaborada uma revisão da teoria disponível sobre o tema, bem como dos instrumentos que dão a base para o planejamento de longo prazo, além de uma avaliação das tendências regionais quanto à aplicação dos modelos.

Neste capítulo são expostos também questões próprias com relação ao planejamento energético no Brasil e em outros países, além da descrição dos modelos utilizados e das formulações necessárias à realização das projeções, conforme constam da bibliografia de base e que se obteve da avaliação das ferramentas metodológicas disponíveis. Também são vistas as características de formação dos preços de energia, e o comportamento passado e previsões com relação ao desempenho dos preços do barril de petróleo, ao qual são referenciados os preços de energia.

No capítulo 3 apresenta-se a metodologia proposta nesta dissertação para elaboração de um plano energético estadual, descrevendo inicialmente os passos para assimilação das variáveis, bem como posteriormente fazendo uma leitura das características de cada setor e dos dados a serem assimilados e trabalhados para elaboração dos cálculos. Nesta etapa demonstram-se basicamente quais serão os dados e como é feita a formatação dos mesmos para posterior alimentação e modelagem.

Também neste capítulo são apresentados os dados para formação do ano base para realização dos cálculos e necessários à prospecção da demanda e da oferta de energia, e ainda as considerações adotadas para validação dos modelos de projeção de longo prazo. São definidas também as premissas e delimitados os cenários nos quais serão baseados os resultados de longo prazo, que são a base de avaliação dos resultados e que permitirão a comparação entre os mesmos, destacando as influências das premissas adotadas em cada situação econômica e social, com relação aos aspectos de evolução energética de longo prazo.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos para cada cenário, no tocante às projeções de oferta e demanda de energia, desenvolvido por meio de gráficos e discussões para cada cenário, tendo o objetivo de esclarecer os resultados das projeções e permitir a avaliação mais profunda da influência das premissas adotadas. Além disso, apresenta um comparativo da demanda para cada setor da economia, avaliando o desempenho entre o cenário alternativo e de referência para os setores.

Neste capítulo também são apresentados os resultados da avaliação energética de longo prazo, com as principais características observadas em cada cenário e a avaliação dos impactos das premissas adotadas em cada situação, bem como as principais características identificadas na orientação das tendências de longo prazo no aspecto energético.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do estudo baseada nos resultados dos cenários propostos que foram descritos ao longo dos capítulos anteriores. Este item faz a análise das contribuições que o estudo traz ao entendimento de planejamento energético estadual, à medida que regionaliza a aplicação das ferramentas em nível estadual, e insere a consideração da inserção da eficiência energética de longo prazo nos aspectos de planejamento.

Tais considerações são devidamente descritas no decorrer do estudo, e contribuem à disseminação da discussão de planejamento energético à medida que implementam novos olhares à questão da diversificação das matrizes energéticas, considerando a eficiência energética como um vetor de expansão da matriz, à medida que este penetra a taxas que perceptíveis frente a cenários econômicos e sociais distintos, assim como as demais fontes de produção de energia.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo que segue trata da teoria que da base ao desenvolvimento do planejamento energético de longo prazo, apresentando uma visão geral do tema de acordo com as prerrogativas nacionais e internacionais, e fazendo uma particularização dos aspectos relevantes a serem aplicados em um estudo de planejamento energético estadual.

A verificação das ferramentas e metodologias aplicadas em planejamento energético também será revisada, com foco principal nas ferramentas que serão aplicadas no estudo proposto, verificando suas aplicações e características de utilização nos planos energéticos de longo prazo.

As avaliações e informações com relação às formulações e bases de dados próprias aos planos de longo prazo, também serão abordadas neste capítulo, visando elucidar as principais diretrizes para particularização das técnicas de planejamento energético de longo prazo para o âmbito estadual.

Além das formulações para os cálculos energéticos de longo prazo, será abordada a questão da formação de preço de energia em nível global, e as características principais que descrevem os preços de energia e da evolução tecnológica das fontes de produção.

### 2.1. Aspectos conceituais e metodológicos do planejamento energético

Quando se trata de planejamento energético naturalmente se remete aos aspectos metodológicos, haja vista a complexidade das variáveis e das características associadas às diversas fontes de dados, assim como aos diferentes tempos de maturação destes dados, e também aos diversos atores envolvidos na produção e consumo de energia.

*Todos os membros da sociedade são parte deste sistema, enquanto usuários das diversas formas energéticas. São membros também as grandes empresas que utilizam energia, os fabricantes das diversas tecnologias empregadas nos sistema, e, evidentemente, as grandes as grandes e pequenas empresas que produzem e distribuem energéticos. Também é membro o governo, que tem uma influência muito grande, por sua capacidade de decisão sobre muitas das variáveis críticas do sistema (BAJAY, 2004) .*

Neste sentido, segundo UNSIHUAY (2013), o planejamento energético deve possibilitar em suas avaliações, o atendimento à demanda futura de forma eficiente, dentro dos limites econômicos, atendendo os aspectos de desenvolvimento social, sem que para isso cause danos ao meio ambiente. Assim o planejamento energético se configura como uma ferramenta de extrema importância, à medida que prove informações que são indicativas e determinativas para elaboração de políticas públicas, e também permitem no médio e longo prazo a melhor compreensão a cerca do comportamento dos energéticos em uso em um determinado estado, região ou país.

Conforme consta em UNSIHUAY (2012), alguns atributos são preponderantes na classificação dos modelos de longo prazo, e são importantes no sentido de permear as características principais dos planos de longo prazo, sendo que os principais atributos estão descritos a seguir:

- Cobertura geográfica
- Horizonte temporal
- Nível de detalhe
- Hipótese de previsão de preços
- Técnicas de resolução
- Tratamento das Tecnologias

Conforme consta em UNSIHUAY (2012), a cobertura geográfica se refere à abrangência dos modelos, que podem ser de cobertura mundial, regional ou nacional, para as quais podem ser aplicados pressupostos diversos que levam em conta as características próprias das regiões.

Já com relação ao Horizonte temporal, os modelos são mais comumente classificados como de curto prazo (menos de 2 anos), os de médio prazo (de 2 até 30 anos) e os de longo prazo (de 30 a 100 anos). Conforme UNSIHUAY (2012), o horizonte temporal do modelo define o ponto de vista que se tem do sistema energético em análise. Por exemplo para variável estoque de capital, no curto prazo pode se considerar como fixa, sendo que no médio e longo prazos ela assume a função variável, em virtude de alterações de tecnologia e deslocamento de recursos entres setores produtivos, que acabam por impactar nesta variável. Estas considerações são necessárias para cada variável, entre os três horizontes temporais, uma vez que podem assumir a condição fixa em

um dado horizonte, e variável em outra, a depender da análise e dos cenários propostos.

No que diz respeito ao nível de detalhes, a capacidade de avaliação das cadeias energéticas e das variáveis associadas à produção e consumo deste energético é levada em conta neste item. Modelos com restrição da capacidade de detalhes conseguem desagregar o consumo e a produção de energia em poucas vertentes, sendo que modelos com maior capacidade permitem desagregação em centenas de variáveis, tornando mais complexa a análise, porém mais precisa à medida que se dispõem de dados corretos, em horizontes temporais coincidentes.

As hipóteses de previsão de preços são relacionadas à evolução dos preços no longo prazo, e conforme UNSIHUAY (2012), são usadas geralmente hipóteses opostas, sendo uma delas a previsão míope, onde os agentes econômicos esperam que os preços se mantenham ou variem de forma conhecida, e a outra a previsão perfeita, na qual os agentes acreditam prever os preços por meio dos modelos, sendo que todos os agentes formadores de preço atuam na mesma linha e com a mesma informação.

No que diz respeito às técnicas de resolução, devido à complexidade já citada e dado o grande número de variáveis a que pode chegar um problema de planejamento energético, são utilizadas linguagens de programação denominadas de alto nível, que podem ser aplicadas por modelos de simulação ou otimização. De acordo UNSIHUAY (2012), as linguagens mais utilizadas em planejamento de longo prazo são as aplicadas pelos modelos: Gams – *The General Algebraic Modeling System*, ou o Troll – *Time Shared Reactive On line Laboratory*, e ainda o Vensim – *Linguagem de Programação voltada para simulações*.

Finalmente com relação ao tratamento das tecnologias energéticas, este tópico relaciona as tecnologias e busca evidenciar as diferenças entre elas ao longo do tempo, em medidas que podem ser associadas aos custos, ou ainda ao ciclo de vida e outros aspectos determinantes da tecnologia. De acordo UNSIHUAY (2012), os métodos para modelagem de atributos das tecnologias futuras vão desde o uso de parâmetros exógenos até a utilização de equações comportamentais associadas a outras variáveis, ou ainda a utilização de equações e curvas comportamentais para cada tecnologia.

## 2.2. Planejamento energético de longo prazo no Brasil

Tal como já foi mencionado anteriormente, a Empresa de Pesquisa Energética - EPE vinculada ao Ministério de Minas e Energia - MME, em 2007, publicou o Plano Nacional de Energia - PNE 2030 (Brasil, 2007), com as projeções para a matriz energética nacional, e que serve de base para as políticas do Governo Federal para o planejamento da matriz energética nacional. Tal plano é considerado como um dos marcos da retomada da iniciativa do Estado Brasileiro para o planejamento energético de longo prazo.

A Figura 01 a seguir representa a estrutura metodológica do planejamento do PNE-2030, considerando os pilares de demanda, oferta e modelos para consistência dos dados futuros.

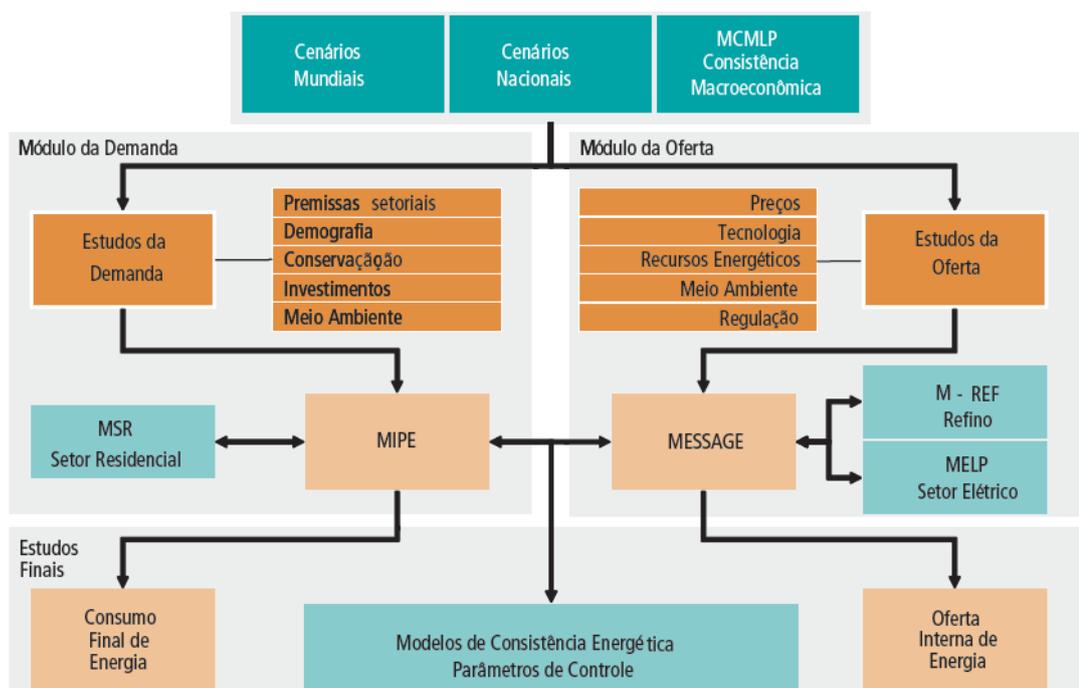


FIGURA 01 – METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO  
FONTE: (PNE 2030)

No âmbito nacional o documento PNE2030 apresenta os diversos resultados das projeções realizadas para todo o país, sendo que os resultados são base para decisões de cunho estratégico para o setor energético. Similarmente, outros Estados da Federação já realizam seus estudos de

planejamento energético, tendo como as premissas setoriais definidas pelo MME e pela EPE.

O estado de Minas Gerais teve recentemente publicado seu Plano Estadual de Energia, sendo que o objetivo foi analisar os gargalos possíveis ao crescimento da economia, ao crescimento da população e notadamente ao crescimento do consumo energético associado a estes fatores (GEMG, 2007).

Recentemente o FNSE - Fórum Nacional de Secretários de Estado para Assuntos de Energia, propôs alternativas e defendeu a necessidade de se desenvolver um planejamento descentralizado em nível estadual. O documento anteriormente citado “Descentralização e Participação – Planejamento e Gestão do Setor Energético Brasileiro” (FNSE,2010), apresenta, propõe e argumenta aspectos relevantes para as questões do planejamento descentralizado, tais como:

*“A centralização do planejamento perde efetividade por não levar em consideração as especificidades regionais, tratando de forma idêntica às unidades da federação que, dada a sua geografia, disponibilidade de recursos naturais, e políticas de incentivos socioeconômicos e tributários, são completamente distintas uma das outras, sobretudo no que diz respeito ao melhor aproveitamento de suas potencialidades energéticas sob a perspectiva da otimização de recursos nacional”. A necessidade da elaboração de prospectivas das matrizes energéticas estaduais levou alguns estados a começarem a se preocupar com a questão (FNSE, 2010) .”*

Os formuladores de políticas públicas e as agências reguladoras são atores com grande poder institucional sobre as variáveis do sistema, e suas decisões trazem impactos para todos os agentes do setor, podendo alterar substancialmente a projeção dos sistemas. Essas decisões são tomadas num ambiente de incertezas geopolíticas, e necessitam de metodologias que dêem base à tomada de decisão com menor índice de erro, especialmente, quanto a perspectivas de energéticos futuros (SILVA, 2007).

Algumas das medidas propostas para aumentar a participação regional no planejamento energético do país são (FNSE, 2010):

“

- a) Adoção pela EPE do planejamento energético regionalizado (parágrafo único do artigo 2º da Lei 10.847, de 15/03/2004);

- b) *Coordenação entre o FNSE e a EPE para unificação da metodologia de elaboração dos Balanços Energéticos Estaduais;*
- c) *Participação do FNSE na elaboração dos Planos de Expansão de Energia PDE e PNE;*
- d) *Participação do FNSE nos estudos do mercado energético futuro e na elaboração das matrizes energéticas estaduais em conjunto com a EPE;*
- e) *Participação do FNSE na definição dos critérios para a realização de leilões de energia nova por tipo de fonte e por região, visando aproveitar as potencialidades regionais, diminuir custos e otimizar a operação do Sistema Interligado Nacional – SIN“*

O Governo do Estado do Paraná através do Decreto Estadual nº 1.869, de 30/01/80, e revisado pelo Decreto Estadual-PR nº 2.931, de 2 de maio de 1994, delegou a Companhia Paranaense de Energia – COPEL as atividades relacionadas ao planejamento energético estadual, em função da estrutura governamental do Estado não contemplar uma Secretaria de Minas e Energia (COPEL, 2008).

A Copel é responsável pela elaboração do Balanço Energético do Paraná, conforme COPEL (2008), através da edição anual que retrata a oferta e a demanda dos insumos energéticos nos principais segmentos da economia paranaense, considerando toda a matriz energética simultaneamente, e as transformações entre fontes primárias e secundárias, além dos intercâmbios, a fim de internalizar os impactos de disponibilidade e déficit das fontes energéticas.

A complexidade e a multidisciplinaridade associada ao planejamento de longo prazo, em conjunto a decisões estratégicas e políticas que definem diretrizes de longo prazo, são algumas das questões de difícil modelagem quando se trata de aspectos de infraestrutura. Assim a busca por modelos capazes de sintetizar e assimilar as variações associadas ao planejamento de longo prazo, tendo por base os aspectos que retratam o consumo de energia em suas diversas formas, é essencial ao desenvolvimento sustentável.

Métodos e modelos computacionais de planejamento energético podem auxiliar produzindo informações e conhecimentos relevantes, todavia os

modelos computacionais para o planejamento são altamente complexos e são resultados da integração de outros modelos baseadas em diversas áreas de estudo da ciência: pesquisa operacional, econometria, economia, meio ambiente, etc (JEBA, 2004).

De acordo com o observado no plano de energia de Minas Gerais, a questão central em projeções de matriz energética é como tratar as incertezas críticas. Em (GEMG, 2007) são relacionadas as principais incertezas consideradas para elaboração daquele plano, tais sejam:

- “
- i. às perspectivas de crescimento econômico macro (PIB) e setorial de um País e nos seus Estados ;
  - ii. às trajetórias produtivas e tecnológicas dos setores da economia;
  - iii. ao market-share das fontes de energia disponíveis;
  - iv. à atração efetiva de investimentos em infra-estrutura de oferta de energia necessários para atender a demanda projetada para o longo prazo;
  - v. à evolução adequada dos arranjos institucionais e do marco regulatório requeridos para a viabilização dos investimentos, para a boa gestão dos negócios e para o balanceamento dos interesses dos diferentes agentes econômicos e sociais (GEMG, 2007). “

O tratamento dessas incertezas críticas apresentadas, bem como outras que possam ser identificadas em processos de planejamento energético, requer flexibilidade dos modelos para a simulação de cenários. De acordo com (GEMG, 2007) este é o aspecto principal pelo qual destaca-se que um trabalho de projeção de longo prazo de matriz energética não pode ser entendido apenas como uma previsão do futuro, sendo que ao contrário disso, projetam trajetórias de evolução que se vislumbram para variáveis chave, tomando por base fatores condicionantes do presente.

A necessidade de elaborar planos de energia em nível estadual já foi percebida e executada por outros estados do Brasil. O Governo do Estado de Rio de Janeiro elaborou um estudo da matriz energética do Estado do Rio de Janeiro 2008-2020, desenvolvida utilizando o software LEAP — *Long-range Energy Alternatives Planning System*. Este modelo foi concebido e

desenvolvido no *Stockholm Environmental Institute* — SEI e é um instrumento contábil destinado à construção de modelos de planejamento energético-ambientais integrados, baseados em cenários de curto, médio e longo prazos (GERJ, 2009).

O Estado de São Paulo também realizou um plano de energia de 2006-2016, usando um modelo de avaliação da demanda de energia que simula as necessidades no médio e longo prazo, e foi desenvolvido a partir de adaptações e modificações do modelo original “*Modele de Evaluation de la Demande Energetique – MEDEE*”. Trata-se de um modelo técnico-econômico contábil, que associa técnicas de cenários à contabilização dos principais usos de energia. Sua análise consiste em identificar os determinantes econômicos, demográficos, sociais e técnicos da demanda final de energia, por uso e por setor de atividade, e a partir destes dados, e simular sua evolução ao longo do tempo (GESP, 2008).

Em 2011 a Secretaria Estadual de Energia de São Paulo apresentou novo estudo da matriz energética do estado, considerando o horizonte de 2035 para o longo prazo. A abordagem adotada nesta revisão do plano estadual de energia do estado considerou três principais módulos de abordagem, tais sejam: Economia; Tecnologia e Eficiência; e Oferta e Autoprodução de Energia.

Conforme (SESP, 2011) foram introduzidas neste estudo as considerações de cenários alternativos, complementares e distintos do cenário de base, de forma a observar diferentes trajetórias de evolução da economia e suas relações com variáveis relevantes para matriz energética, como eficiência e oferta por exemplo. No total foram 4 cenários propostos, sendo eles o cenário base, cenário 01, cenário 02 e cenário 03, cada qual com considerações de PIB médio anual no longo prazo de 3,5%, 4,6%, 2,9% e 2,1% respectivamente.

“O modelo energético (MENE) faz a integração de todos os módulos presentes na matriz de São Paulo, seja de forma direta ou indireta, como os módulos de Oferta Tecnológico e Econômico, ou seja indiretamente através das políticas públicas. Utilizou-se o programa *Long Range Energy Alternatives Planning System – LEAP*, para os cálculos da matriz.

A demanda de energia é calculada através da combinação de coeficientes técnicos, econômicos e sociais. Para o cenário base de

referência foi obtida uma taxa de evolução da do PIB para São Paulo de 3,5% ao ano (SESP, 2011).”

O Estado do Rio grande do Norte em 2007 apresentou também um Plano Estadual de energia, elaborado em parceria entre a Petrobrás e o Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE/USP, e encomendado pela Secretaria Extraordinária de Energia e pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Neste caso não foram realizados estudos de oferta utilizando modelos de otimização, como apresentados anteriormente, sendo apenas apresentado o estudo da demanda de longo prazo.

O Modelo de Projeção de Demanda para o Estado do Rio Grande do Norte foi executado utilizando também o programa LEAP, que foi adaptado especialmente para este projeto, e levou em conta os aspectos de base da região, tomando o ano base como 2004 e o longo prazo como 2030 (USP, 2007).

O Estado de Minas Gerais também empreendeu o estudo de sua matriz, em um projeto conjunto com uma equipe multidisciplinar do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ (PPE) e da Universidade Federal de Itajubá UNIFEI. O objeto do estudo foi realizar análises prospectivas da oferta e demanda das diversas fontes de energia no Estado de Minas Gerais, tendo por base o ano de 2005 e projetando o longo prazo até o ano de 2030. As premissas partiram da elaboração de cenários macroeconômicos e setoriais para o estado, além dos de demanda de energia e das avaliações das dinâmicas do consumo nos setores da economia (GEMG, 2008).

No estudo de Minas Gerais foram feitas simulação de cenários de Referência e Alternativo, utilizando modelo técnico econômico de demanda e modelo de otimização de oferta. Para demanda utilizou-se o modelo MAED, que realiza a abordagem paramétrica técnica-econômica de demanda, e para a simulação da oferta utilizou-se o MESSAGE, que faz a abordagem de otimização de oferta (GEMG, 2008).

Salienta-se que a EPE atualmente usa um dos modelos computacionais avalizados pela Agência Internacional de Energia Atômica IAEA, sendo ele o modelo MESSAGE - *Model for Energy Supply Strategy*

*Alternatives and their General Environmental Impact* (IAEA, 2006). O modelo MESSAGE foi usado na elaboração do PNE2030.

Do que consta no plano energético do Estado de Minas Gerais, o objetivo foi de realizar análises que proporcionem a elaboração de cenários prospectivos de oferta e demanda das diversas fontes de energia do Estado, considerando no caso o ano de 2030 como o limite das projeções de longo prazo:

“No cenário Referência, o uso final de energia cresce a uma taxa anual média de 4,03% atingindo, em 2030, o patamar de 67.296 mil tep (em 2005, o valor do uso final de energia em Minas Gerais equivaleu a 25.047 mil tep). Nesse cenário, a oferta interna bruta de energia em 2030 é de 85.466 mil tep (em 2005, a oferta interna de energia em Minas Gerais equivaleu a 31.144 mil tep).

No cenário Alternativo, o crescimento médio anual do uso final de energia é de 3,42%, chegando a um total de 58.062 mil tep em 2030. A oferta interna bruta de energia alcança 73.739 mil tep em 2030, no cenário Alternativo. Portanto, há uma diferença de 16% na oferta interna bruta de energia entre os dois cenários, indicando os ganhos de eficiência e uso racional de energia e os efeitos de mudança estrutural do cenário Alternativo em relação ao cenário Referência (GEMG, 2007).”

Tais iniciativas refletem a percepção da relevância de se planejar a infra-estrutura energética adequadamente e em tempo hábil (dados os prazos de mobilização e maturação dos investimentos nessa área), tendo em vista os planos de desenvolvimento e peculiaridades estaduais. No Estado do Paraná, o último trabalho desenvolvido nessa linha temática foi em 1990, intitulado *Projeção do Consumo de energia no Paraná 1995-2000*. (COPEL, 1995).

As linhas mestras da metodologia foram retiradas da monografia *"Simulação da Utilização de Energia"*, elaborada para o Programa de Implementação do Modelo Energético Brasileiro (PIMEB), complementadas por técnicas e sugestões metodológicas do Grupo Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos – GCPS. (COPEL, 1995).

Neste sentido também se destaca o trabalho de pesquisa que resultou na dissertação de mestrado elaborada por Gustavo Inácio de Moraes, do setor

de Ciências Sociais Aplicadas da UFPR, intitulado “Energia e Sustentabilidade no Paraná”. O estudo delineou perspectivas e cenários de desenvolvimento sustentável tomando como horizonte o ano de 2023 (MORAES, 2005).

Importantes aspectos sociais e econômicos foram abordados neste estudo, que buscou, entre outras avaliações, criar correlação entre os aspectos de desenvolvimento econômico e as questões de energia, interiorizando a questão aos aspectos do desenvolvimento econômico paranaense.

Os cenários socioeconômicos avaliados no Paraná utilizando as metodologias do MEDEE anteriormente citados, apontam para uma demanda crescente de energia no longo prazo, mesmo em um cenário de menor dinamismo econômico observado (MORAES, 2005).

Desse modo torna-se necessário projetar e introduzir ganhos de eficiência energética e fontes energéticas renováveis, como o incremento à matriz energética do estado, garantindo assim a sustentabilidade energética (MORAES, 2005).

Com relação aos modelos avaliados no decorrer do estudo, o plano de longo prazo de Minas Gerais apresenta um base de modelagem similar à aplicada a esta dissertação para o estado do Paraná, guardadas as devidas proporções no que tange o nível de modelamento e precisão dos dados.

Neste aspecto considerou-se o estudo de Minas Gerais como referencia em algumas situações, uma vez que neste utilizou-se a mesma dupla de modelos para oferta e demanda de energia, bem como as bases similares de dados macroeconômicos e sociais, o que facilita tecer comparativos entre os planos no sentido de buscar maior entendimento das metodologias aplicadas.

### **2.3. Exemplos de Planejamento energético em outros países**

Também em outros países as questões do planejamento energético são consideradas na expansão das matrizes energéticas, tendo em vista o caráter desenvolvimentista associado à produção e consumo de energia, ao aquecimento global, bem como as questões de dependência energética que alguns países enfrentam atualmente, principalmente aqueles que possuem suas matrizes pouco diversificadas, e por conseguinte dependentes de políticas energéticas sólidas e de longo prazo.

Em 2010 foi apresentado o estudo para o desenvolvimento de energia nuclear na Jordânia, país que possui cerca de 6 milhões de habitantes e uma taxa de crescimento da ordem 7% a.a. Neste país em 2009 os produtos derivados de petróleo representavam 58% da matriz, seguido do Gás natural com 40%, restando 1% para energias renováveis e 1% para importação de eletricidade (ARAJ, 2010).

Com relação aos cenários demográficos e econômicos utilizados para as projeções de consumo, foram determinados três cenários, de alto médio e baixo crescimento, tanto demográfico quanto econômico, e os consumos referentes aos cenários são observados ao longo de 2005 a 2040, conforme pode ser visto na Figura 02.

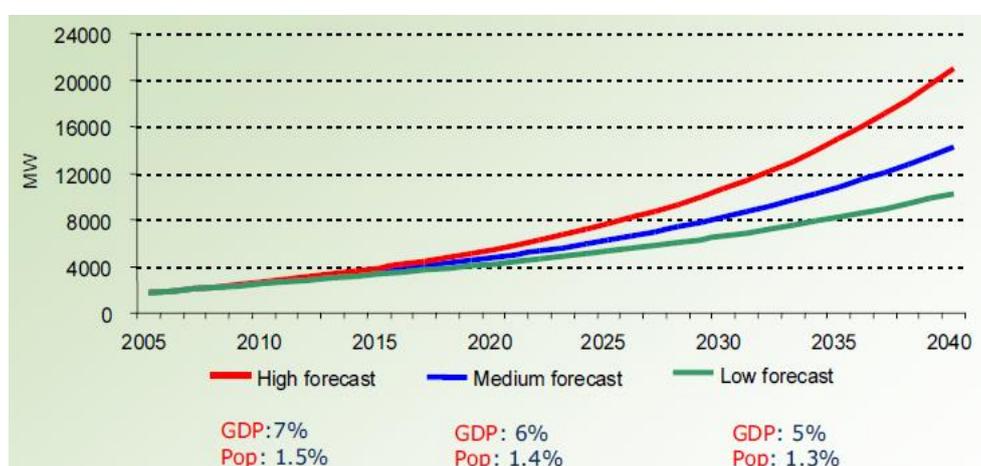


FIGURA 02 – CENÁRIOS DE CONSUMO LONGO PRAZO JORDÂNIA  
FONTE: (ARAJ, 2010)

A estratégia de estudo de planejamento de longo prazo na Jordânia seguiu considerando três análises distintas, porém complementares, tais sejam: Projeção de Demanda, Projeção de Expansão, Modelos de Financiamento. Dentre os modelos de simulação utilizados conforme Araj (2010), o modelo de projeção da demanda MAED e o modelo de otimização de oferta MESSAGE, fizeram parte do programa.

Ainda com relação à aplicação dos modelos de oferta e demanda de longo prazo, em Watts (2010) são apresentadas algumas vantagens e aspectos gerais da modelagem do setor energético do Chile, utilizando as técnicas de modelagem do MESSAGE para determinar a oferta de energia. No artigo de Watts (2010) foram apresentados principais aspectos relacionados à formatação dos dados de base para utilização do Modelo MESSAGE, tendo

como base dados de demanda oriundos de um modelo próprio, que neste caso não foi descrito, e utilizando premissas definidas pelos especialistas deste país na elaboração dos cenários de preços diretores de energia e das tecnologias utilizados no mix energético do Chile.

O desenvolvimento do estudo de planejamento energético foi relevante para o Chile, principalmente em função do aumento das taxas de crescimento social e econômico verificadas pelo governo, que acarretam no crescimento do consumo de energia. Neste aspecto foi proposto e iniciado o desenvolvimento mais completo de um plano de longo prazo de energia, considerando algumas medidas no sentido de melhorar as questões de segurança e diversidade tecnológica, bem como incentivou a implementação de mecanismos para promover a penetração de energias renováveis na matriz, visando à dita diversificação energética.

Como pode ser visto em Watts (2010), o planejamento não só fornece a visão distinta do desenvolvimento futuro da Matriz energética, a partir de cenários definidos, bem como possibilita avaliar os possíveis gargalos à segurança energética, além da capacidade de diversidade da matriz, visando à sustentabilidade no uso dos recursos, permitindo a avaliação de políticas distintas a fim proporcionar uma influência sobre a concorrência, propondo ao fim um equilíbrio entre as fontes.

*“A utilização do MESSAGE permitiu a otimização eficiente do investimento e operação de cada um dos cenários, de forma que mais tarde possam ser avaliados de acordo com os despachos econômicos e os custos marginais do sistema. Com base nessas análises conclui-se que, nos países que têm grande potencial hidráulico ou países que planejam incorporar tecnologia nuclear em sua matriz, considerando essas tecnologias com preços muito menos competitivos, o desenvolvimento economicamente viável destes sistemas se dará certamente no longo prazo.*

*Já com relação à incorporação das tecnologias renováveis (como a eólica ou solar) em quantidades importantes na composição da matriz local, estas deverão ocorrer baseadas em requisitos determinados pelo regulador (Entes Governamentais), ou através de incentivos adicionais para o desenvolvimento de investimentos em tecnologias limpas. Caso contrário, o impacto e a*

*capacidade de competição destas tecnologias não serão muito significativos, tendo em vista os baixos fatores de capacidade destas tecnologias e dos seus ainda elevados custos de investimento. No entanto, esta conclusão é condicionada a pressupostos da disponibilidade local e dos custos desses recursos e tecnologias, bem como das análises pressupostas pelos técnicos do governo chileno que elaboraram os cenários de projeções. (WATTS, 2010).”*

A Nigéria também elaborou um planejamento energético de longo prazo, e aplicou os modelos de projeção de demanda e oferta de energia. Neste caso foram utilizados os modelos MAED e MESSAGE, através de acordo de colaboração entre a Comissão de Energia da Nigéria e a Agência Internacional de Energia Atômica (SAMBO, 2007).

Como consta em Sambo (2007), ocorreu inicialmente no país a capacitação para o planejamento energético envolvendo as esferas governamental, privada e acadêmica. Primeiramente foi elaborada a projeção da demanda real de energia e as estratégias para a oferta, em um horizonte de tempo de 30 anos. A equipe de trabalho foi composta por especialistas técnicos de empresas de energia, do ministério de energia da Nigéria e das universidades, formando assim um comitê de direção para o projeto em uma base regular.

Os membros da equipe de trabalho foram treinados sobre o uso dos modelos da AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica, e desenvolveram então os cálculos da demanda de energia da Nigéria e projeções de oferta de energéticos o horizonte de 2005-2030.

*“As projeções de demanda de energia foram calculadas usando MAED com os principais indicadores da demanda de energia, ou seja, demografia, socioeconômica e tecnologia. A aplicação de MAED requer informações detalhadas sobre demografia, economia de energia e intensidades de eficiência de energia. Esta informação é em primeiro lugar montado para um ano de base que é utilizado como o ano de referência para a evolução da percepção do sistema de energia no futuro. A seleção do ano de base é feita com base na disponibilidade de dados, os dados de avaliação que são representativas da situação econômica e energia do país. Na*

*modelagem caso da Nigéria energia, quatro cenários econômicos foram desenvolvidos e utilizados da seguinte forma (SAMBO, 2007):*

*→ Cenário de Referência - Crescimento do PIB de 7%;  
→ Cenário de alto crescimento - Crescimento do PIB de 10%;  
→ Cenário Otimista I - Crescimento do PIB de 11,5%, e  
→ Cenário otimista II - Crescimento do PIB de 13%  
(Pronunciamento Presidencial para o desejo de estar entre as primeiros 20 economias até 2020). “*

Conforme Hainoun (2010), a Síria também é um país que tem preocupações com o atendimento da demanda futura de energia, e para tanto delineou estratégias de análises e projeções de longo prazo para oferta de energia. Neste país a modelagem foi formulada com base em minimizar os custos totais do sistema para o período de estudo 2005-2030.

Observando a análise do ano base de 2005 na Síria, esta apresentou uma demanda de 15.5 Mtep, dos quais o setor de transporte representou 23%, seguido da indústria com 19%, e da agricultura com 11%. Construção, mineração e serviços responderam por 7%, 7% e 6% respectivamente. O consumo por tipo de combustível foi de 72% para os derivados de petróleo, seguido de 10% para o Gás Natural, 3% para os combustíveis tradicionais e 15% para eletricidade (HAINOUN, 2010).

*“ Os resultados indicam que a energia primária vai crescer a uma taxa média anual de 4,8% chegando 68 milhões de tep em 2030. A capacidade instalada total de eletricidade vai de 6885 a 19500 MW em 2030. Além disso, para garantir a segurança de abastecimento do sistema energético nacional, o país vai depender principalmente do petróleo e gás natural, com contribuição limitada de energias renováveis e energia nuclear, ao longo do período projetado.*

*Devido ao contínuo decréscimo da produção de petróleo, a exportação de petróleo é esperada a iniciar declínio em 2012 e o país vai importar cerca de 63% de sua demanda de energia primária em 2030. Assim, o desenvolvimento de longo prazo esperada do setor de energia indica um desafio difícil para o futuro da economia nacional. O emprego da análise de sensibilidade esclarece a importância das Usinas Eólica. (HAINOUN, 2010).”*

## 2.4. O modelo MAED

Conforme GEMG (2007) o modelo MAED é um modelo paramétrico, técnico-econômico, que realiza a simulação da demanda de energia útil futura, com base em um cenário de referência e nas premissas para os setores da economia.

Conforme AIEA (2010), a metodologia reflete alterações estruturais na demanda de energia de um país ou região considerada, no médio e longo prazo, por meio dos índices social, econômico e tecnológico. Este tipo de avaliação leva em conta a evolução das necessidades da população, como por exemplo, condicionamento de ar residencial, iluminação, transportes, levando em conta a distribuição da população em áreas urbanas e rurais, além das políticas de desenvolvimento industrial e energético.

De acordo com (GEMG, 2007). Neste modelo a substituição entre formas de energia não é calculada automaticamente de acordo com a evolução dos preços de energia e os correspondentes coeficientes de elasticidade, mas sim de acordo com as condições dos cenários socioeconômicos e tecnológicos descritos anteriormente, que são formulados para o médio e longo prazo. Conforme AIEA (2006), este é o aspecto que diferencia esta modelagem das demais, principalmente frente ao contexto econômico atual de grandes variações e indefinições na formação dos preços de energia, o que leva os economistas a não disporem de técnicas confiáveis que relacionem as variações de preços de energia com a demanda.

De acordo com AIEA (2006), estudos apontam que existem mais divergências do que acertos com relação à determinação da elasticidade preço-demanda de energia, e que os estudos atuais sobre a elasticidade de preço não têm demonstrado bons resultados no longo prazo. Este é o fato que limita o modelo MAED a avaliar a evolução por outros aspectos, a não ser aqueles diretamente ligados à evolução do preço de energia.

O modelo MAED avalia a demanda futura de energia baseada em cenários sócio-econômicos de médio e longo prazo, além de informações de crescimento demográfico e evolução das tecnologias relacionadas ao uso de energia. O modelo relaciona sistematicamente a demanda de energia para os

diversos setores de consumo em um estado ou país, e os correspondentes fatores sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais (AIEA, 2010).

Em linhas gerais a metodologia compreende a sequência abaixo apresentada:

- “
- (1) *Desagregação da demanda de energia total do estado em um número controlado de setores econômicos;*
  - (2) *Caracterização de parâmetros sociais, econômicos e tecnológicos que afetam cada setor em sua energia útil final;*
  - (3) *Estabelecimento matemático das relações entre a demanda útil e os fatores de variação por setor;*
  - (4) *Desenvolvimento de cenários consistentes nos aspectos social, econômico e tecnológico para região em questão;*
  - (5) *Avaliação da demanda de energia para cada cenário;*
  - (6) *Selecionar entre os cenários possíveis, o padrão mais provável de desenvolvimento para região. AIEA (2010): “*

## 2.5. O modelo MESSAGE

De acordo com (GEMG, 2007), O MESSAGE seleciona os energéticos em uma cadeia definida, visando o atendimento à demanda de energia útil, de forma a minimizar os custos do sistema ao longo do período observado. Trata-se de um modelo de Programação Linear que abrange o sistema energético como um todo, e analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas disponíveis.

O modelo MESSAGE é usado para formular e avaliar estratégias alternativas no fornecimento de energia para um país ou região. O modelo encontra a estratégia ótima de fornecimento de energia de acordo com restrições definidas pelo usuário, por exemplo, limites de novos investimentos, taxas de penetração de mercado, disponibilidade e comércio de combustíveis, emissões, entre outros (AIEA,2006).

De acordo com GEMG (2008), o modelo MESSAGE, sigla originada de *Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental*

*Impacts*, foi desenvolvido originalmente no IIASA (*International Institute for Applied System Analysis*) visando à otimização de um sistema energético, levando em conta suas demandas e fontes energéticas disponíveis, inclusive importações e exportações.

Em seguida a IAEA (*International Atomic Energy Agency*) também passou a fazer o planejamento através da utilização desta ferramenta, e para tanto adquiriu a última versão do modelo e faz diversas atualizações freqüentes, especialmente a introdução de uma interface amigável, com vistas a facilitar a sua aplicação que é um tanto complexo mesmo aos especialistas da área de energia.

O modelo esta baseado no princípio matemático de otimização de uma função-objetivo, sujeita a restrições que definem a região provável a conter as soluções do problema energético em análise. Via de regra aplica-se esta metodologia mais apropriadamente a um país com grande capacidade de produção e consumo de energia, no entanto pode ser aplicada também a regiões distintas ou mesmo estados de um país, sendo que para tanto há que se considerar um grande esforço de adaptação das formulações por meio da equipe de especialistas envolvidos na modelagem do programa, bem como na coleta e assertividade de análise dos dados de entrada, tanto da demanda quanto da oferta.

*“ O valor da função objetivo ajuda a escolher a melhor solução, de acordo com um critério específico, usualmente, a minimização do custo. Numa classificação mais geral, O MESSAGE é um modelo de programação inteira mista, utilizado para a otimização de um sistema de energia (GEMG, 2007).”*

Em suma este modelo permite a formulação de alternativas de fornecimento de energia, de acordo com restrições impostas pelas condições operativas, regulatórias e de mercado associadas às fontes disponíveis no mix energético da região em análise. Dentre as restrições possíveis de serem consideradas na modelagem, conforme AIEA (2006) estão por exemplo:

- Limites de Investimentos em fontes de energia;
- Disponibilidade e preço de combustíveis e energéticos;

- Aspectos regulatórios do mercado de Energia da Região considerada;
- Aspectos regulatórios concernentes às questões ambientais;
- Taxas de penetração de tecnologias de produção de energia no mix energético da região em análise;

## 2.6. Relação entre os modelos MAED e MESSAGE

A relação entre os modelos é fundamental na assimilação dos dados e das premissas elaboradas, e conforme apresentado no decorrer deste estudo, a aplicação do modelo de oferta é feita através dos dados obtidos via um modelo de demanda, que prospecta os valores de demanda útil por setor da economia e por tipo de uso final, e desta forma o modelo de oferta busca o fornecimento ótimo baseado nos critérios determinados.

O modelo MAED foi utilizado como determinante no levantamento da demanda de energia, conforme apresentado no decorrer do estudo, sendo que os resultados apresentados por este modelo são aplicados ao MESSAGE para obtenção da oferta de energia que atendam à demanda por energia projetada nos diversos cenários.

Desta forma existe uma interação própria entre ambos modelos, uma vez que os dados do MAED são utilizados no MESSAGE, e conseqüentemente alterações proporcionadas por avaliações de cenários alternativos, serão modeladas e trarão resultados diversos através do da avaliação da oferta. A Figura 03 apresenta a lógica básica de interação entre os modelos.

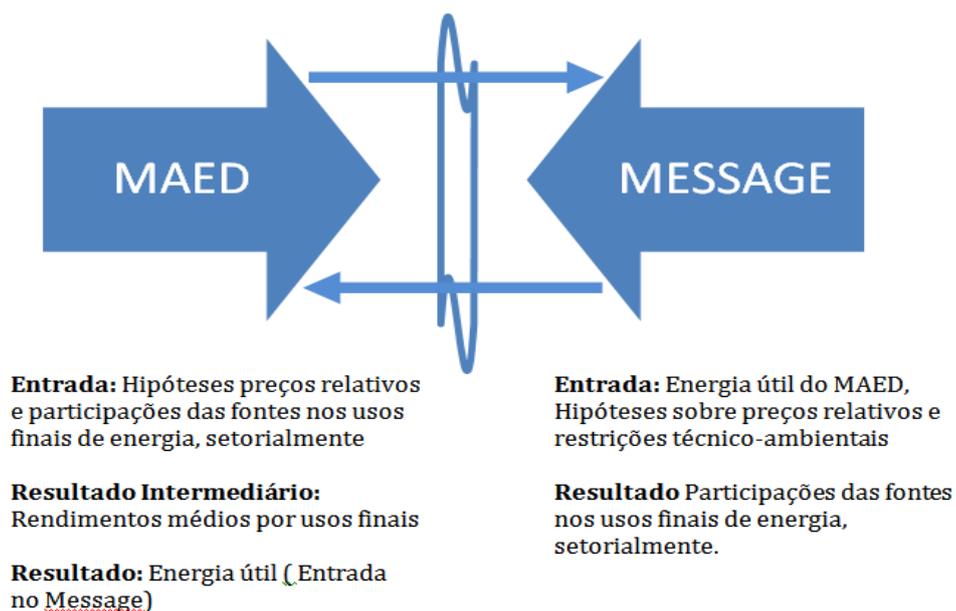


FIGURA 03– LÓGICA DE INTEGRAÇÃO ENTRE OS MODELOS MAED E MESSAGE  
FONTE:GEMG(2007)

*“ Como não é o modelo MAED, mas sim o modelo MESSAGE que seleciona as fontes energéticas consumidas para atendimento da demanda por energia útil, forma-se uma circularidade entre as ferramentas lógicas de simulação. O modelo MESSAGE depende dos resultados do MAED que, por sua vez, derivam de assunções sobre rendimentos energéticos, que são dependentes das fontes energéticas, que serão selecionadas no MESSAGE (GEMG, 2007).”*

Neste caso são necessários modelos para avaliações feitas com vistas a reduzir os erros na obtenção dos cenários, e estas dependem quase que totalmente da expertise dos pesquisadores envolvidos nos estudos de oferta e demanda, além da disponibilidade de dados que representem o mais próximo possível a realidade dos sistemas de produção e consumo de energia da região em análise (GEMG, 2007).

Não obstante devido às dificuldades postas pelas análises energéticas, é imprescindível um trabalho contínuo de retroalimentação dos modelos, e aprimoramento da base de dados energéticos de produção e consumo, bem como a utilização de outros modelos de projeção e oferta de energia que possam dar subsídios para confrontação e melhoria dos resultados (AIEA, 2006).

Em suma os dados de oferta apresentados pelo MESSAGE são contrastados às hipóteses iniciais concebidas no MAED, quanto às premissas de demanda, e a partir daí faz-se uma avaliação de aderência dos modelos com intuito de verificar se os resultados foram a contento ou uma nova base de dados deve ser montada, para daí uma nova iteração ser realizada, re-analisando aspectos da demanda e re-formulando as possibilidades de oferta para atendimento à demanda apresentada.

Cabe ressaltar que o modelo de oferta busca apresentar um mix energético que atenda à demanda útil determinada, buscando atender às restrições colocadas, principalmente a minimização dos custos das cadeias energéticas e a diversificação destas mediante suas disponibilidades de recursos e o comportamento dos anos passados em termos de penetração.

Neste aspecto o MESSAGE possui algumas características, que são as soluções apresentadas pelo modelo para o atendimento de uma dada

demanda específica, e acabam tendo o foco sob a ótica de minimização de custos, fornecendo desta forma resultados do tipo “on-off” (GEMG, 2007).

Conforme GEMG(2007), um exemplo de simulação seria o atendimento de demanda de combustíveis para frota de automóveis por gás natural, zerando os demais combustíveis concorrentes, como gasolina e álcool. Via de regra isso seria um erro do ponto de vista de programação, tendo em vista que na realidade operacional dos sistemas de potência devem ser considerados os usos cativos de energia que não podem ser substituídos em virtude de fatores externos.

Sobretudo a consideração destas análises permite nos horizontes de médio e longo prazos avaliar estratégias e considerar políticas energéticas que auxiliem na tomada de decisões que envolvem as esferas políticas em aspectos econômicos, sociais, ambientais e técnicos.

É de suma importância ressaltar que não existem modelos de previsão de longo prazo que sejam “perfeitos”, no sentido de representar a realidade exata do futuro de consumo e oferta de energia. O que se faz são análises críticas, verificando a realidade e organizando-a sistematicamente de forma a simplificá-la, visando com isso obter cenários plausíveis baseados no comportamento dos sistemas energéticos e nos fatores determinantes da demanda (GEMG, 2007).

## **2.7. Formulações matemáticas do MAED para projeções de longo prazo**

As formulações apresentadas neste item representam aquelas determinadas para aplicação nos modelos, e são determinadas conforme AIEA (2010), sendo que as devidas adaptações aos dados coletados no âmbito estadual serão feitas à medida que forem apresentados e formatadas os dados, tendo em vista a caracterização da aplicação do modelo ao aspecto do consumo energético estadual.

### 2.7.1. Formulações dos Cálculos Demográficos

De acordo com o apresentado, a evolução da população em função do tempo pode ser definida externamente, tanto em quantidade de população por período como em taxa de crescimento da população no período de estudo. As formulações para o cálculo da taxa de crescimento e do tamanho da população são dadas abaixo:

$$PO = [(PO / PO_{-1})^{(1-inc)} - 1] * 100 \quad (01)$$

$$PO_{gr} = (PO_{-1}) * (1 + (PO_{gr} / 100))^{(inc)} \quad (02)$$

Onde:

POgr = Taxa de crescimento da população entre o ano base e o ano modelo anterior

PO e PO(-1) = População no ano base e no ano modelo anterior

inc = quantidade de anos entre o ano modelo anterior e o atual

Os valores demográficos apresentados nas tabelas anteriores são base para cálculos de demanda posteriores, e derivam das equações abaixo apresentadas:

$$UHH = PO * (PUrb / 100) / CApuh \quad (03)$$

$$PRur = 100 - PUrb \quad (04)$$

$$RHH = PO * (1 - PUrb / 100) / CAprh \quad (05)$$

$$POlc = PO * (POplc / 100) \quad (06)$$

$$ALF = PO * (PLF / 100) * (PARTlf / 100) \quad (07)$$

Onde:

UHH = Quantidade de Casas no meio Urbano, em milhões de habitantes

PUrb = Parcela da População Urbana, em percentual do total

PRur = Parcela da População Rural, em percentual do total

RHH = Quantidade de Casas no meio Rural, em milhões de habitantes

CApuh = Tamanho médio das residências em áreas Urbanas

CAprh = Tamanho médio das residências em áreas Rurais

POlc = Quantidade de habitantes nas grandes cidades, em milhões de habitantes

POplc = Parcela da População nas grandes cidades

ALF = Força de trabalho ativa total, em milhões de habitantes  
 PLF = Potencial de força de trabalho, em milhões de habitantes  
 PARTlf= Parcela do potencial de trabalho atualmente empregado

### 2.7.2. Formulações dos cálculos macroeconômicos

Para realização dos cálculos são de utilizados dados de diferentes composições entre IBGE e BEN, assim como os dados de evolução da população, a taxa de crescimento do PIB, dados de intensidade de uso de energia, determinados externamente aos modelos, seguindo duas etapas descritas formuladas a seguir.

A primeira etapa considera os valores constantes do ano base ou qualquer outro ano modelo, tendo como variável o produto interno bruto em unidades monetárias do ano referido, aqui denominado Y. A segunda etapa refere-se ao cálculo das taxas médias anuais de crescimento do PIB entre todos os anos sucessivos considerados, para obtenção das projeções do PIB em função da taxa obtida dos anos anteriores considerados no modelo. Neste caso a taxa de crescimento foi denominada Ygr.

As formulações para obtenção dos valores de PIB do ano base e das taxas de crescimento são apresentadas abaixo:

$$Y_{gr} = \left[ \left( Y / Y_{-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (08)$$

$$Y = \left( Y_{-1} \right) * \left( 1 + \left( Y_{gr} / 100 \right) \right)^{inc} \quad (09)$$

#### Onde:

Ygr = Taxa de crescimento do PIB entre o ano base e o ano modelo anterior

Y e Y(-1) = PIB no ano base e no ano modelo anterior

inc = quantidade de anos entre o ano modelo anterior e o atual

A partir da composição do ano base é possível determinar a formação do PIB e sua parcela em cada setor da economia, de forma a compor o valor adicionado de cada setor no PIB total do estado, de acordo com as formulações abaixo apresentadas.

$$Y_{agr} = Y * (PY_{agr} / 100) \quad (10)$$

$$Y_{con} = Y * (PY_{con} / 100) \quad (11)$$

$$Y_{min} = Y * (PY_{min} / 100) \quad (12)$$

$$Y_{man} = Y * (PY_{man} / 100) \quad (13)$$

$$Y_{ser} = Y * (PY_{ser} / 100) \quad (14)$$

$$Y_{en} = Y * (PY_{en} / 100) \quad (15)$$

Onde:

PYagr = Parcela do PIB devido ao setor da agricultura

PYcon = Parcela do PIB devido ao setor da construção civil

PYmin = Parcela do PIB devido ao setor da mineração

PYser = Parcela do PIB devido ao setor de serviços

PYen = Parcela do PIB devido ao setor de energia

De forma similar aos cálculos das taxas de crescimento da população e do PIB, as taxas de crescimento para cada setor da economia são determinadas pelas equações abaixo:

$$Y_{agr.gr} = \left[ \left( Y_{agr} / Y_{agr-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (16)$$

$$Y_{con.gr} = \left[ \left( Y_{con} / Y_{con-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (17)$$

$$Y_{min.gr} = \left[ \left( Y_{min} / Y_{min-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (18)$$

$$Y_{man.gr} = \left[ \left( Y_{man} / Y_{man-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (19)$$

$$Y_{ser.gr} = \left[ \left( Y_{ser} / Y_{ser-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (20)$$

$$Y_{en.gr} = \left[ \left( Y_{en} / Y_{en-1} \right)^{(1-inc)} - 1 \right] * 100 \quad (21)$$

Onde:

Yagr.gr = Taxa de crescimento do PIB devido ao setor da agricultura

Ycon.gr = Taxa de crescimento do PIB devido ao setor da construção civil

Ymin.gr = Taxa de crescimento do PIB devido ao setor da mineração

Yser.gr = Taxa de crescimento do PIB devido ao setor de serviços

Yen.gr = Taxa de crescimento do PIB devido ao setor de energia

Utilizando os resultados acima é possível calcular os valores de PIB per capita e também o valor econômico adicionado por setor per capita, denominados  $Y_{cap}$ , e  $Y_{setor.cap}$ , respectivamente.

$$Y_{cap} = Y / PO * 1000 \quad (22)$$

$$Y_{agr.cap} = Y_{agr} / PO * 1000 \quad (23)$$

$$Y_{con.cap} = Y_{con} / PO * 1000 \quad (24)$$

$$Y_{min.cap} = Y_{min} / PO * 1000 \quad (25)$$

$$Y_{man.cap} = Y_{man} / PO * 1000 \quad (26)$$

$$Y_{ser.cap} = Y_{ser} / PO * 1000 \quad (27)$$

$$Y_{en.cap} = Y_{en} / PO * 1000 \quad (28)$$

Onde:

$Y_{cap}$  = Taxa do PIB per capita

$Y_{setor.cap}$  = Taxa do PIB per capita por setor da economia (agr, com, min, man, ser, cap)

### 2.7.3. Formulações da demanda de energia - setor industrial

A demanda energética para o setor industrial é calculada a partir da demanda de energia por tipo de energético, de acordo com a formulação abaixo descrita:

$$FF_{ind} = FF_{IT} + FF_{AG} + FF_{NE} \quad (29)$$

$$TF_{ind} = TF_{IT} + TF_{AG} + TF_{NE} \quad (30)$$

$$BI_{ind} = BI_{IT} + BI_{AG} + BI_{NE} \quad (31)$$

$$EL_{ind} = EL_{IT} + EL_{AG} + EL_{NE} \quad (32)$$

$$OT_{ind} = OT_{IT} + OT_{AG} + OT_{NE} \quad (33)$$

$$DF_{ind} = FF_{ind} + TF_{ind} + BI_{ind} + EL_{ind} + OT_{ind} \quad (34)$$

Onde:

FFind = Demanda total de combustíveis fósseis na Indústria

TFind = Demanda total de combustíveis tradicionais na Indústria

Blind = Demanda total de biomassa na Indústria

ELind = Demanda total de eletricidade na Indústria

OTind = Demanda total de outros combustíveis na Indústria

DFind = Demanda final de energia na indústria

IT, AG, NE = Índices dos consumos para: Indústria Total, Agropecuária, Não Energéticos

A taxa de participação de cada energético na demanda total é calculada de acordo com a formulação abaixo descrita, apresentada em percentual:

$$TFF_{ind} = FF_{ind} / DFind * 100 \quad (35)$$

$$TTF_{ind} = TF_{ind} / DFind * 100 \quad (36)$$

$$TBI_{ind} = BI_{ind} / DFind * 100 \quad (37)$$

$$TEL_{ind} = EL_{ind} / DFind * 100 \quad (38)$$

$$TOT_{ind} = OT_{ind} / DFind * 100 \quad (39)$$

Onde:

TFFind = Taxa de combustíveis fósseis na demanda total da Indústria

TTFind = Taxa de combustíveis tradicionais na demanda total da Indústria

TBlind = Taxa de biomassa na demanda total da Indústria

TELind = Taxa de eletricidade na demanda total da Indústria

TOTind = Taxa de outros combustíveis na demanda total da Indústria

A demanda final de energia por valor adicionado é apresentada em (tep/1000U\$), o que se chama de intensidade energética, e pode ser calculada de acordo com a formulação abaixo, sendo que sua aplicação é feita também aos outros setores, sendo a formulação adaptada apenas em função do devido setor e seus consumos e valores adicionados:

$$EIFF_{ind} = FF_{ind} / Y_{ind} \quad (40)$$

$$EITF_{ind} = TF_{ind} / Y_{ind} \quad (41)$$

$$EIBI_{ind} = BI_{ind} / Y_{ind} \quad (42)$$

$$EITEL_{ind} = EL_{ind} / Y_{ind} \quad (43)$$

$$EIOT_{ind} = OT_{ind} / Y_{ind} \quad (44)$$

$$EIDF_{ind} = DF_{ind} / Y_{ind} \quad (45)$$

**Onde:**

EIFFind = Intensidade Energética de combustíveis fósseis aplicados na Indústria

EITTFind = Intensidade Energética de combustíveis tradicionais aplicados na Indústria

EITBInd = Intensidade Energética da biomassa aplicada na Indústria

EITELind = Intensidade Energética da eletricidade aplicada na Indústria

EIOTind = Intensidade Energética de outros combustíveis aplicados na Indústria

EIDFind = Intensidade Energética total dos energéticos aplicados na Indústria

#### **2.7.4. Formulações da demanda de energia - setor de transportes**

A demanda do setor de transporte é calculada avaliando os modais de transporte de passageiros e de cargas, e os respectivos meios de transporte utilizados em cada um destes modais.

$$ECFT = TELFT + TSCFT + TDIFT + TGAFT \quad (46)$$

$$ECPT_{IC} = TDIFT + TGAFT \quad (47)$$

$$ECPT_{EC} = TSCFT + TDIFT + TGAFT \quad (48)$$

$$DFTS = ECPT_{IC} + ECPT_{EC} \quad (49)$$

**Onde:**

ECFT = Demanda total Setor de Transporte de Cargas

ECPTic = Demanda total Setor de Transporte de Passageiros Intracidades

ECPTec = Demanda total Setor de Transporte de Passageiros Intercidades

DFTS = Demanda total de energia no Setor de Transportes

TELFT = Demanda de Energia para Transporte Usando Eletricidade

TSCFT = Demanda de Energia para Transporte Vapor

TDIFT = Demanda de Energia para Transporte Usando Diesel

TGAFT = Demanda de Energia para Transporte Usando Gasolina

### 2.7.5. Formulações da demanda de energia - setor residencial

A demanda energética para o setor residencial é calculada a partir da necessidade de energia por tipo de energético, levando em conta aspectos demográficos e sociais. Os principais indicadores referem-se à quantidade de residência no meio urbano e rural, bem como número de pessoas que habitam as residências.

A demanda total apresentada nos resultados leva em conta os consumos estimados para condicionamento ambiental, cocção, usos específicos de eletricidade e também uso de outros combustíveis como lenha ou diesel para os fins acima citados. Todas as estimativas são fortemente ligadas às questões demográficas citadas, haja vista que o modelo apresenta variações intimamente ligadas aos aspectos econômicos e sociais.

As formulações para obtenção da demanda energética do setor residencial são apresentadas a seguir:

$$TFF_{HH} = TFF_{UH} + FF_{RH} \quad (50)$$

$$TTF_{HH} = TTF_{UH} + TTF_{RH} \quad (51)$$

$$TBI_{HH} = TBI_{UH} + TBI_{RH} \quad (52)$$

$$TEL_{HH} = TEL_{UH} + TEL_{RH} \quad (53)$$

$$TOT_{HH} = TOT_{UH} + TOT_{RH} \quad (54)$$

$$DF_{HH} = TFF_{HH} + TTF_{HH} + TBI_{HH} + TEL_{HH} + TOT_{HH} \quad (55)$$

#### Onde:

$TFF_{HH}$  = Demanda total de combustíveis fósseis no setor residencial

$TTF_{HH}$  = Demanda total de combustíveis tradicionais no setor residencial

$TBI$  = Demanda total de biomassa no setor residencial

$TEL_{HH}$  = Demanda total de eletricidade no setor residencial

$TOT_{HH}$  = Demanda total de outros combustíveis no setor residencial

$HH, UH, RH$  = Índices dos consumos para Residencial: Total, Urbano e Rural respectivamente

### 2.7.6. Formulações da demanda de energia - setor de serviços

A demanda energética para o setor de serviços é feita de forma similar à demanda para o setor residencial, guardados aspectos particulares no consumo próprio para iluminação e condicionamento de ar, que diferem substancialmente entre as aplicações.

A demanda total apresentada nos resultados leva em conta os consumos estimados para condicionamento ambiental, usos específicos de eletricidade (Iluminação, equipamentos eletrodomésticos), uso de motores a combustível relativo às atividades do setor, e também uso de outros combustíveis como lenha ou diesel para os fins acima citados.

As formulações para obtenção da demanda energética do setor de serviços são apresentadas a seguir:

$$FF_{SER} = FF_{SER_{TU}} + FF_{SER_{AC}} \quad (58)$$

$$SS_{SER} = SSSER_{TU} \quad (59)$$

$$DH_{SER} = DHSER_{TU} \quad (60)$$

$$EL_{SER} = ELSER_{TU} + ELSER_{TU} + ELSER_{AC} \quad (61)$$

$$MB_{SER} = MBSER_{TU} \quad (62)$$

$$TF_{SER} = TFSER_{TU} \quad (63)$$

$$FIN_{SER} = MF_{SER} + TF_{SER} + MB_{SER} + EL_{SER} + DH_{SER} + SS_{SER} + FF_{SER} \quad (64)$$

**Onde:**

$FF_{SER}$  = Demanda total de combustíveis fósseis no setor de serviços

$MB_{SER}$  = Demanda total de biomassa no setor de serviços

$EL_{SER}$  = Demanda total de eletricidade no setor de serviços

$DH_{SER}$  = Demanda total de energia para aquecimento local nas instalações de serviços

$SS_{SER}$  = Demanda total de energia solar para usos gerais nas instalações de serviços

$TF_{SER}$  = Demanda total de outros combustíveis no setor de serviços

$FIN_{SER}$  = Demanda total de outros combustíveis no setor residencial

$AC, TU$  = Índices dos consumos para: Condicionamento Interno, Usos gerais de Energia

## 2.8. Considerações sobre formação de preços de energia

A produção e consumo de energia, do ponto de vista de negócio, não é isenta de riscos, mesmo com as regulamentações e condições de garantia de suprimento impostas pelas legislações nacionais.

De acordo com BREEZE(2012), dentre os inúmeros fatores que concorrem aos riscos dos preços de energia, considera-se como o principal e determinante o risco dos preços de combustível. Notadamente os preços de combustível estão atrelados ao preço do óleo combustível (petróleo), que por sua vez sofrem variações por vezes bruscas e sem previsibilidade, principalmente devido a fatores geopolíticos e de políticas econômicas internacionais.

A Figura 04 abaixo apresenta a variação dos preços do barril de petróleo praticado no mercado internacional.

Ano	Custo 2010 (US\$/barril)
1989	32,05
1990	39,58
1991	32,03
1992	30,03
1993	25,61
1994	23,27
1995	24,35
1996	28,72
1997	25,94
1998	17,01
1999	23,52
2000	36,08
2001	30,01
2002	30,33
2003	34,17
2004	44,17
2005	60,87
2006	70,46
2007	76,13
2008	98,5
2009	62,68
2010	79,5
2011	96,29
2012	111,0

FIGURA 04 –VARIÇÃO PREÇOS DO PETRÓLEO MERCADO MUNDIAL  
FONTE – BREEZE (2012)

Consta em GEMG(2007) que a formação dos preços diretos de energia no Brasil é baseada na lei 9.478/97, que determina a convergência dos preços internacionais e domésticos de energia, tendo como base o mercado

americano e seus padrões de qualidade do petróleo, que são basicamente suas qualidades físico químicas e sua localização.

Tomando por base o petróleo brasileiro do tipo Cabiúnas, faz-se a comparação entre as qualidades apresentadas, levando em conta os parâmetros de diferença entre os dois tipo de petróleo, conforme feito no Plano estadual de energia de Minas Gerais e apresentado em GEMG (2007), como segue abaixo:

<b>Petróleo</b>	<b>° API</b>	<b>Enxofre %</b>	<b>° Acidez</b>
WTI	40	0,3	0
Brent	38,3	0,37	0,07
Cabiúnas	25,5	0,47	0,66

FIGURA 05 – EQUIVALÊNCIAS FÍSICO QUÍMICAS ENTRE PADRÕES DE PETRÓLEO  
 FONTE – GEMG (2007)

### **2.8.1. Análise dos preços e tecnologias de produção de energia**

A energia de forma geral possui uma serie de complexidades quando se faz a analise econômico financeira de seus custos de implantação e operação. Em sua cadeia de valor há que se mensurar constantemente não apenas as plantas necessárias para produção de energia, porém também devem ser ponderadas as redes de distribuição e transmissão necessárias para dispor a energia aos consumidores.

Desta forma a análise do equilíbrio financeiro dos sistemas de fornecimento de energia requer exercícios econômicos de extrema complexidade, além da constante atualização de metodologias e formas de avaliação da remuneração de capital destes empreendimentos, visando o equilíbrio de oferta e demanda, tomando como principio as diretrizes dos serviços fundamentais e da modicidade tarifaria vigentes no Brasil.

Estas são algumas das considerações que fazem com que as análises financeiras de empreendimentos de energia se tornem extremamente complexos, sob a ótica notadamente dos custos de capital de construção de sistemas de infraestrutura de energia, bem como o custo de qualquer empréstimo necessário para financiar o projeto.

A interação entre as avaliações de custos operacionais, custos de construção e de operação, incluindo custos de combustíveis, além dos atualmente relevantes custos ambientais, torna complexa a determinação do custo final, uma vez que todos estes itens, bem como suas derivações, concorrem para o custo do produto final, assim como os custos de rede associados com o fornecimento de energia (BREEZE, 2012).

De acordo com BREEZE (2012), o critério mais utilizado para comparar o custo de energia elétrica a partir de diferentes tipos de usina é o modelo de custo nivelado, mesmo que ele tenha algumas desvantagens importantes, continua a ser o único meio mais utilizado para determinar a fonte mais econômica futura de eletricidade. Análises recentes mostram que o custo de capital das usinas está aumentando, mas as variações de custo nivelado dessas plantas apresentam um quadro mais complicado.

A energia de forma ampla é vital para o funcionamento do mundo moderno e é considerada em muitos casos como inesgotável, mas como um produto que é complexo e derivado de diversos processos, há que se considerarem as instabilidades de fornecimento devidas aos inúmeros fatores ligados à produção.

Um ponto crucial para compreensão das dinâmicas de produção de energia é que não é possível armazená-la, sendo que ela precisa ser produzida na medida mais otimizada de sua necessidade de uso, sob a pena de perda de eficiência, também chamado de desperdício. A consequência disso é que o fornecimento de energia deve seguir imediatamente a partir da produção, o que torna ainda mais complexo o sistema de gestão das variáveis, bem como as questões econômicas ligadas aos critérios de otimização de recursos.

Em virtude das complexidades, a cadeia de fornecimento de energia associa a cada unidade de energia um preço que representa estes diversos fatores de instabilidade. Conforme BREEZE(2012), estes custos somados compõem os custos fixos e custos variáveis, que são introduzidos nas estimativas de formação de preços de tecnologias de geração de energia, denominado "*overnight capital costs*", mais o custo de reembolsos em quaisquer empréstimos contraídos para financiar a construção da usina.

De acordo com BREEZE(2012), dentre os custos variáveis se pode citar, por exemplo, a cadeia de fornecimento de energia a partir do início de

operação da planta, que passa a considerar custos operacionais e de manutenção, além dos custos de capital tomados para a construção do empreendimento, bem como os custos de combustíveis consumidos pela planta de energia, que variam também diversamente por inúmeros fatores.

Portanto visando a otimização dos custos de operação dos sistemas de energia, bem como a seguridade do fornecimento, os sistemas de energia possuem formas de energia operando na base que reflete em sua maioria o preço geral do sistema como um todo, há depender do energético de maior relevância na matriz em análise.

No caso do Paraná pode se verificar no balanço energético qual a dominância de energéticos que prevalece, por tipo de uso final, sendo que sempre o petróleo e derivados está ocupando a maior fatia do uso final de energia. No entanto ao passo que as novas energias renováveis penetram nas matrizes nacional e estadual, as dinâmicas entre os usos finais por fonte passa a ter comportamentos diferentes, que devem ser monitoradas e melhor compreendidos.

### **2.8.2. Avaliação dos custos futuros de energia**

Como citado anteriormente os custos de energia são baseados nos custos do barril de petróleo com referência ao Brent, todavia cada tipo de energético segue uma característica sendo que depende dos fatores anteriores, como tipo de tecnologia utilizada para produção da energia, tipo de energia no uso final, além dos custos associados ao transporte desta energia.

Conforme apresentado em BREEZE (2012), os custos associados a cada unidade entregue de energia pode ser dividido em elementos que refletem os custos de operação e os custos do capital de construção, além de uma margem de custos adicionada a cada etapa de transformação, que advém das tarifas de serviços e impostos que produzem receita e lucro aos operadores. Custos históricos de eletricidade, por exemplo, podem ser registrados e mapeados visando fornecer insights sobre como variam as composições dos custos, e como essas variações contribuem e influenciam os preços globais.

*“No entanto as empresas não estão interessados no que eles pagaram ontem pela energia, e o que eles geralmente precisam saber é o que eles vão ter que pagar amanhã. Igualmente, as empresas de produção de energia e operadores de rede querem saber qual será a sua opção de menor custo para a geração e fornecimento de energia futura, enquanto os governos podem exigir dados de custos futuros, a fim de enquadrar as suas políticas, de modo a assegurar a estabilidade futura do aprovisionamento (BREEZE, 2012).”*

Em qualquer dos casos citados, o custo futuro da energia devem ser estimados e previstos, de modo que estes sistemas precisam ser modelados e simulados com operação conjunta, levando em conta os usos cativos. Neste caso são necessárias simplificações, e que devem ser calcadas em estratégias que permitam avaliar os custos futuros frente aos investimentos necessários e aos recebíveis a partir da energia. Abaixo são apresentados os dois métodos mais comuns e verificados são as estimativas futuras de custo de capital e o cálculo do custo nivelado de eletricidade.

*“ O custo de capital é importante porque representa o montante que deve ser encontrado no início para financiar a construção de uma usina de energia. Em um mercado liberalizado da eletricidade, onde as empresas de eletricidade devem fazer um lucro para seus acionistas, o custo de capital, muitas vezes, deve ser um fator decisivo para decidir o tipo de planta para investir. A planta com o menor custo de capital, muitas vezes, parecem mais atraentes, mesmo se a tecnologia não pode produzir a energia mais barato a longo prazo. Os efeitos a longo prazo de tal tomada de decisão pode ser visto no grande capacidade instalada de plantas de gás muitos países industrializados. Estes são baratos para construir, mas pode tornar-se caro para operar quando sobem os preços do gás, vindo a ter plantas ociosas (BREEZE, 2012)*

*O custo nivelado, por outro lado, tenta prever o custo a longo prazo de energia elétrica. Desta forma leva em conta o efeito dos preços dos combustíveis no futuro, sendo que o modelo, que foi desenvolvido durante a era das empresas verticalizadas e estatais, e possui muitos problemas, principalmente com relação à análise de aversão ao risco. No entanto, como um meio de fazer a comparação*

*entre diferentes opções de geração contínua, é única ferramenta mais amplamente utilizada (BREEZE, 2012). “*

Tendo em vista obter um parâmetro de determinação dos preços diretores de energia, foram utilizados os preços do barril de petróleo na cotação internacional, conforme apresentado em BREEZE (2012), e feitas as ponderações para correção ao preço do barril de petróleo no Brasil, de acordo com a tabela da Figura 06, baseada nas características físico químicas de equivalência entre qualidade de petróleo, e que é a forma adotada para convergência dos preços diretores de energia conforme cita GEMG (2007).

Para a projeção futura dos preços foi adotada a tabela de preços diretores para o petróleo, cotado em dólares por barril apresentada pela EIA (2012), como segue abaixo:

Ano	Projeção AEO 2012
2015	116,91
2020	126,68
2025	132,56
2030	138,49
2035	144,98

FIGURA 06 – EVOLUÇÃO PREÇOS BARRIL PETRÓLEO LONGO PRAZO

## 2.9. Considerações Finais do Capítulo

Tendo em conta as principais características apresentadas com relação aos planos energéticos de longo prazo, aspectos relevantes à formatação dos planos são considerados neste capítulo, apresentando os principais pontos relevantes à elaboração do planejamento energético estadual de longo prazo.

Para compreensão da modelagem dos planos energéticos, sejam eles em nível de estado ou país, são necessárias algumas etapas de compreensão da cadeia de formação do consumo e da oferta. As informações de base são obtidas através dos balanços e publicações oficiais, neste caso a nível estadual, bem como por meio das projeções e tendências apontadas por órgãos nacionais e internacionais que tratam do tema planejamento.

Neste capítulo se obteve uma visão importante dos principais dados utilizados em outros países e estados, no intuito da formatação da base de

dados para elaboração das projeções, bem como se observou as análises e formação de cenários particulares às avaliações de longo prazo. Assim, seguindo com a avaliação dos modelos de demanda e oferta de longo prazo, MAED e MESSAGE respectivamente, foram determinadas as formulações e as bases de dados necessárias para determinação da base de cálculos.

A compreensão dos setores econômicos, bem como suas relações e composições de dados foram feitas por meio do entendimento da metodologia e das bases de dados necessárias aos cálculos, sendo esta uma etapa importante na formação do plano estadual, visto que as formulações foram então aplicadas à partir destas definições.

As considerações com relação aos preços de energia e às composições que determinam as tendências de preços, são necessárias à medida que o modelo tratará das penetrações de cada energético em vista que ocorreu no passado, e fará a ponderação visando otimizar a oferta em função da demanda, por setor e por energético.

Neste caso a taxa de penetração observada, bem como a demanda para cada setor, tem ainda o fator do preço para balizar o comportamento de longo prazo, visando garantir o fornecimento a contento do ocorrido no passado, e buscando se adaptar às novas tendências de demanda e preço projetadas.

### **3.MATERIAIS E MÉTODO**

Este capítulo apresenta a metodologia proposta nesta dissertação para elaboração do planejamento energético estadual de longo prazo, tendo como estudo de caso o estado do Paraná, conseqüentemente, definindo o planejamento energético de longo prazo para o estado.

Considerando o estado da arte das técnicas e procedimentos sistemáticos, o intuito deste capítulo é de esclarecer a metodologia proposta bem como as ferramentas e dados utilizados no desenvolvimento do planejamento, assim como definir as etapas necessárias à elaboração de um plano energético em nível estadual o qual poderia ser usado para qualquer estado ou região, resguardando obviamente as características próprias de cada estado no tocante à disponibilidade e formatação das informações relevantes.

#### **3.1.Elaboração da metodologia do plano energético estadual de longo prazo**

A elaboração do modelo de metodologia de planejamento energético estadual de longo prazo seguirá as técnicas usualmente aplicadas no país, por sua vez baseadas nos modelos MAED e MESSAGE definidos para este caso, bem como na base de dados proposta e obtida por meio das pesquisas, e nos cenários a serem descritos no decorrer deste capítulo.

Também será fator determinante a obtenção de dados do setor energético, disponíveis nos órgãos estaduais e federais, e que são indispensáveis aos cálculos preconizados nos modelos e apresentados no capítulo anterior. Para alguns dados não disponíveis, ou não calculados no âmbito estadual, os cálculos deverão ser baseados nas literaturas disponíveis asseguradas as semelhanças técnicas necessárias, e alguns deles serão estimados usando técnicas apropriadas.

A estrutura pretendida para o Plano estadual de Energia será respaldada fundamentalmente por três pilares:

- i. Dados de demanda de energia relacionados aos aspectos macroeconômicos, sociais, tais sejam as taxas relacionadas aos aspectos do Produto Interno Bruto e dados demográficos,

- respectivamente, bem como os aspectos tecnológicos representados pela intensidade energética dos setores;
- ii. Dados da oferta de energia considerando as fontes disponíveis no estado, obtidos por meio do balanço energético, além das publicações específicas dos setores produtores de insumos de base para energia e seus potenciais considerados nas projeções de longo prazo;
  - iii. Um modelo computacional capaz de processar estes dados, de acordo com os cenários propostos, e produzir base de informações a serem usados para se elaborar o plano estadual de energia de longo prazo.

A Figura 07 a seguir representa a estrutura metodológica proposta nesta dissertação para a elaboração do planejamento estadual de longo prazo, considerando as questões de demanda e oferta, além dos modelos para consistência dos dados futuros.

Da Figura 07 pode ser notado que a metodologia proposta guarda semelhanças em relação ao modelo proposto pelo PNE2030 apresentado na Figura 01. Porém o intuito da metodologia proposta nesta dissertação é de particularizar, direcionar e adequar o modelo ao caso estadual, em virtude das restrições de dados e de capacidade de modelagem existente para consulta nas instituições que gerenciam e publicam alguns dados.

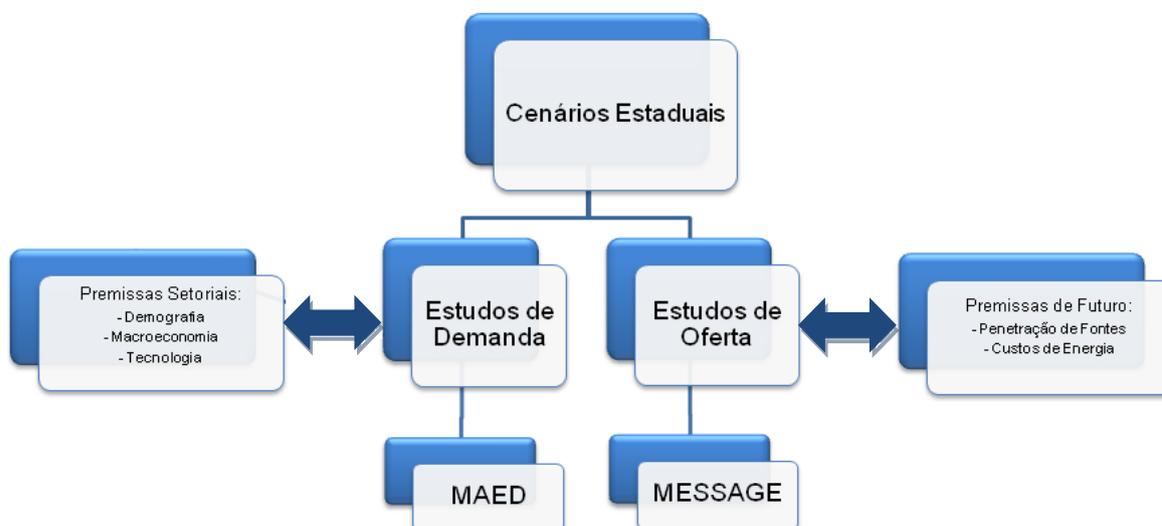


FIGURA 07 – METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO ESTADUAL PROPOSTA  
 FONTE: O autor

Nesta dissertação foi desenvolvida uma análise dos setores da economia, visando à compreensão das dinâmicas de consumo de energia e as tecnologias disponíveis e previstas para cada segmento, observando a evolução dos indicadores de intensidade energética de cada setor avaliado, além das premissas consideradas para elaboração dos cenários macroeconômicos e dos preços diretores de energia considerados para realizar as projeções.

Vale ressaltar ainda que a elaboração da metodologia é, sobretudo, um trabalho de cenarização e não de previsão. Desta forma, as projeções apresentadas nesta dissertação têm base nos cenários macroeconômicos e setoriais já estabelecidos por órgãos que trabalham profundamente o tema, e que em poucos casos prevêem hipóteses tecnológicas e de avanços no sentido da eficiência no uso de energia, sendo esta uma importante contribuição a ser destacada nesta dissertação, e que será mais bem detalhada nas premissas de formação dos cenários alternativos.

Em suma, os resultados das projeções dependem não somente da qualidade da análise e do modelo de simulação aplicados, mas principalmente da disponibilidade de dados e da consistência dos mesmos, bem como da compreensão e conhecimento dos pesquisadores envolvidos no processo de aquisição e tratamento dos dados.

A figura 08 abaixo apresenta o fluxograma completo relacionado às atividades e etapas do modelo de planejamento energético estadual proposto.

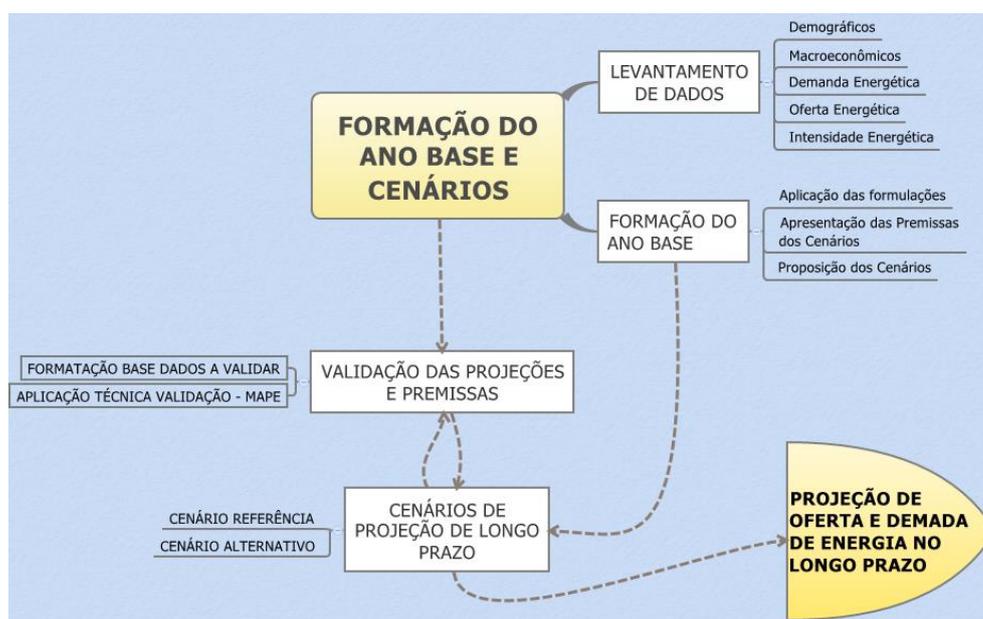


FIGURA 08 – FLUXOGRAMA COMPLETO DO PLANJEMANENTO ENERGÉTICO ESTADUAL  
 FONTE: O Autor

Neste fluxograma proposto se observa a multidisciplinaridade da base de dados, além da inter-relação entre eles, demonstrando a dimensão das interações e considerações que são necessárias ao completo entendimento das questões que permeiam o planejamento energético de longo prazo.

Cabe ressaltar que a cada etapa são necessárias avaliações que advêm das etapas anteriores, bem como preparação das bases de dados para as etapas posteriores, criando assim um aspecto de dependência vertical entre as etapas, mas com re-alimentação horizontal em algumas etapas, tendo em vista que as projeções são em sua maioria dependentes das dinâmicas dos dados ocorridos em tempos pretéritos.

### **3.2. Formação do ano base e cenários**

Haja vista a necessidade de um alinhamento dos dados disponíveis nos organismos estaduais aos preconizados pelos órgãos federais, torna-se necessária a consistência dos dados para cada setor a ser analisado. Neste aspecto a obtenção dos dados e a criação de uma base de suporte para os modelos são fundamentais, bem como a composição de dados externos aos modelos, para a compatibilização entre as diversas fontes de informação e os formatos dos dados disponíveis no estado.

A estrutura de dados conta com um Módulo Macroeconômico, um módulo de demanda e outro de oferta de energia, que em conjunto permitem a análise da consistência dos indicadores econômicos e sociais do cenário nacional com o estadual, relativos ao consumo de energia. Estes cenários foram adequados às características do estado do Paraná, obtendo-se informações de demanda de energia e oferta de energia, atualmente disponíveis por meio do balanço energético estadual.

As informações subsidiam os estudos de demanda de energia de acordo com dados de aspecto social, premissas setoriais, demografia e avanços de eficiência energética, e de oferta de energia de acordo com a disponibilidade das fontes e tendências de oferta de determinadas fontes no longo prazo.

Os cenários do módulo macroeconômico foram determinados de forma consistente com as atividades econômicas do Sistema de Contas Nacionais do IBGE, de acordo com (IBGE, 2010), por meio da tabela CNAE, assim como do

Balanço Energético Nacional de acordo com EPE (2012), Balanço Energético Estadual (BEP,2010) e das publicações do IPARDES disponíveis em (IPARDES, 2011), e serão descritos com mais detalhes neste capítulo.

Para o módulo de Demanda de Energia, foram realizados estudos de demanda de energia baseados nos aspectos demográficos, socioeconômicos, macroeconômicos, premissas setoriais, hipóteses e premissas de evolução tecnológica e penetração desta no consumo de energia, além de dados sobre a evolução da conservação de energia e do meio ambiente.

Para o Módulo de Oferta de Energia, foram também compostos cenários de fornecimento baseados na composição energética existente, na capacidade de fornecimento de outros energéticos com baixa incidência atualmente, e na possibilidade de exploração de novas fontes de energia conforme publicações disponíveis sobre o tema.

Os levantamentos e obtenção dos dados foram feitos juntamente aos órgãos competentes no estado do Paraná, como por exemplo, o IBGE, IPARDES, FIEP, TECPAR, COPEL entre outras associações, sindicatos e institutos responsáveis pelos levantamentos e dados publicados no estado, concernentes às questões econômicas, sociais, de tecnologia e meio ambiente. Para aplicação da metodologia apontada no modelo foram elaboradas tabelas externas para composição da base de dados, feitas à partir de fontes de dados econômicos, sociais, energéticos e tecnológicos, considerando que a desagregação das informações disponíveis devem seguir as metodologias preconizadas para elaboração dos balanços energéticos.

Em linhas gerais o ponto de partida para a composição do ano base foi a consulta a diversas fontes anteriormente descritas e que publicam os valores necessários aos cálculos. A escolha do ano base se deu em função da necessidade de se dispor de dados históricos de ao menos 10 anos, assim como realizado no plano do estado de Minas Gerais, de maneira a poder avaliar as tendências e projeções do ocorrido e confrontar com as projeções a serem apresentadas pelos modelos.

Neste caso o ano base foi elaborado a partir dos resultados obtidos para todos os anos disponíveis e formatados de 2000 até 2010, visando avaliar o comportamento ocorrido e consolidado destes anos e poder validar esta dinâmica para aplicação das formulações de projeções.

A validação que leva em conta o que já ocorreu nos anos anteriores é apresentada no item 3.5, e se convém chamar de calibragem dos modelos, sendo que é uma etapa importante para avaliar a consistência dos dados aplicados e a aderência aos resultados das projeções, uma vez que é possível contrastar as projeções com o ocorrido para um intervalo de tempo determinado.

O passo seguinte depois de concluído o ano base e a calibragem, e que é apresentada posteriormente, será a apresentação de cenários futuros, baseados em premissas que seguem duas linhas de raciocínio:

→ Uma relacionada ao sistema sócio econômico, descrevendo as características principais da evolução social e econômica do estado;

→ Outra relacionada aos fatores de desenvolvimento tecnológico que afetam os consumos de energia, como a eficiência de determinados setores e a penetração das variadas fontes de energia em cada setor econômico;

O estudo da projeção da oferta e demanda de energia se desenvolveu através da criação e consideração destes dois cenários futuros, contados a partir de 2010 até 2040, sendo que a premissa básica é que nos cenários propostos haja um equilíbrio energético entre a demanda necessária e a oferta disponível para cada um dos horizontes planejados.

Estes cenários são hipóteses baseadas nas informações disponíveis no PNE2030 e no PNEf e consideradas para as projeções, sendo denominados: Cenário de Referência e Cenário Alternativo.

A primeira hipótese, chamada Cenário Referência, leva em conta a situação atual das tecnologias e sistemas aplicados à produção e utilização final da energia, e projeta no longo prazo as taxas de crescimento do consumo e da oferta.

Nesta hipótese se mantém uma dinâmica de desenvolvimento dos setores consumidores, sem grande alteração estrutural no uso final de energia, levando em conta movimentos e tendências de alterações estruturais já em fase de implantação, ou aquelas que já são tidas como componentes normais do planejamento da expansão praticado, porém não institucionalizado no estado (GEMG, 2008).

Já a segunda hipótese, denominada cenário Alternativo, faz a consideração a respeito das novas tendências que proporcionam a diversificação da matriz energética com o aumento da eficiência no uso final dos recursos energéticos. A premissa fundamental desta hipótese é baseada na efficientização do consumo, através de práticas inovadoras e solidamente difundidas, que proporcionem melhorias nas taxas de consumo dos sistemas de energia.

Neste cenário alternativo considera-se, por exemplo, a promoção de práticas de eficiência energética, a gradual evolução do parque industrial para produção de itens de maior valor agregado, a melhoria das condições gerais de vida da população, e a utilização de tecnologias menos poluentes na produção de energia (GEMG, 2007).

Com estas considerações é possível elaborar cenários desagregados setorialmente em termos de consumo energético, e poder-se-á então avaliar as mudanças estruturais e seus impactos na demanda futura do setor energético do estado. Para tanto foi utilizado o modelo MAED, visando a simulação dos cenários de demanda de referência e alternativo, projetados para o longo prazo.

A figura 09 apresenta o fluxograma resumido das atividades aplicadas ao desenvolvimento deste item, levando em conta as etapas principais necessárias ao entendimento e replicação da composição do ano base e dos cenários futuros.



FIGURA 09 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA  
FONTE: O autor

### 3.2.1. Levantamento dos dados demográficos

O levantamento de dados para composição do ano base deve ser feito de acordo com a base de dados disponível para o estado em questão. Neste caso para o estado do Paraná, foram feitas composições a partir de dados do IPARDES (2000), (2006) (2011), conforme as tabelas apresentadas a seguir.

A composição dos dados demográficos foi obtida a partir da consulta à base de dados do IBGE, bem como aos relatórios de balanço social do IPARDES publicados em 2011. Tendo em vista que boa parte dos dados necessários aos cálculos não se encontra nos formatos necessários ao modelo MAED, um trabalho de formatação de tabelas foi realizado para obtenção das composições de dados.

A formatação descrita neste item refere-se ao agrupamento dos dados necessários aos cálculos apresentados no item 2.7, que apresenta as formulações mencionadas para obtenção das taxas associadas aos índices demográficos, que compõem os dados de entrada do modelo. Neste caso cabe ressaltar que foram compostos valores à partir das formulações, para os anos entre 2000 e 2005, e também entre 2005 e 2010, visto que as publicações dos órgãos apresentadas nas tabelas abaixo são feitas de 5 em 5 anos, e neste caso foram necessários dados anuais para os anos entre 2000 e 2010, tendo sido portanto obtidos externamente e depois inseridos no modelo.

A Tabela 1 a seguir apresenta a composição demográfica do Paraná para o ano 2000, 2005 e 2010, de acordo com dos dados publicados pelo IPARDES através de suas publicações intituladas Anuários Estatísticos. A cada ano o instituto compila as informações do IBGE, e faz as devidas adaptações e convergências com os dados apurados pelo próprio instituto no Paraná, e publica os dados demográficos e socioeconômicos relacionados ao ano anterior.

TABELA 01 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO TOTAL DO PARANA 2000/2005/2010

População Total (nº de Habitantes)			
	2000	2005	2010
Urbano	7.786.084	8.613.232	8.906.442
Rural	1.777.374	1.658.452	1.538.084
Total	9.563.458	10.271.684	10.444.526

FONTE: IPARDES (2000) (2006) (2011)

Os dados da Tabela 2 apresentam a segmentação da população por tipo de domicílio e o total de habitantes por domicílio, de acordo com os levantamentos obtidos nos anuários estatísticos do estado do Paraná IPARDES (2000) (2006) (2011).

TABELA 02 – QUANTIDADE DE DOMICÍLIOS TOTAL DO PARANÁ 2000/2005/2010

Nº de Domicílios Paraná						
	2000		2005		2010	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Coletivos	4.161	937	4.603	875	4.753	810
Particular	2.769.525	671.945	3.063.743	626.986	3.168.046	581.481
Total	2.773.687	672.882	3.068.347	627.860	3.172.799	582.291

FONTE: IPARDES (2000) (2006) (2011)

A Tabela 3 apresenta a população paranaense considerada como força de trabalho, localizada na faixa etária de 15 a 64 anos. A consideração de força de trabalho, e a faixa etária definida, é uma definição apresentada em IPARDES (2011), e que tem sua definição similar ao modelo MAED, tendo em vista que observa a parte da população ativa produzindo trabalho. Os dados foram retirados dos relatórios estatísticos do IPARDES (2000) (2006) (2011), conforme apresentados abaixo:

TABELA 03 – FORÇA DE TRABALHO NO PARANÁ 2000/2005/2010

Força de Trabalho no Paraná						
	2000		2005		2010	
Masculino	3.767.293	61%	3.905.262	56%	3.704.833	51%
Feminino	2.408.597	39%	3.068.420	44%	3.559.545	49%
Total	6.175.890	100%	6.973.683	100%	7.264.378	100%

FONTE: IPARDES (2000) (2006) (2011)

A figura 10 apresenta o fluxograma resumido das atividades de levantamento dos dados demográficos, aplicadas ao desenvolvimento deste item, tendo em vista as etapas principais necessárias ao entendimento e replicação do conhecimento desta etapa.

Como pode ser visto no fluxograma, a etapa de ajustes refere-se à adequação entre as bases de dados demográficos publicados de 5 em 5 anos, e aos dados necessários à modelagem para esta etapa, que foi feita anualmente.



FIGURA 10 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA  
FONTE: O autor

### 3.2.2. Levantamento dos Dados Macroeconômicos

Similarmente o levantamento de dados macroeconômicos para composição do ano base pode ser feito de acordo com a base de dados disponível para o estado em questão. Nesta dissertação para o estado do Paraná, foram feitas composições a partir de dados do IBGE (2010) , e do BEN e BEP conforme as tabelas apresentadas a seguir.

Para elaboração dos dados macroeconômicos foram elaboradas planilhas externas que possibilitam o agrupamento dos indicadores econômicos de cada setor da economia considerado para obtenção da demanda de energia para o ano base.

Primeiramente foram feitos levantamentos com relação à tabela de atividades econômicas disponível para o estado, mantendo a consonância desta com a tabela preconizada pelo IBGE, denominada tabela CNAE.

*“ A CNAE é a classificação oficialmente adotada pelo Sistema Estatístico Nacional na produção de estatísticas por tipo de atividade econômica, e pela Administração Pública, na identificação da atividade econômica em cadastros e registros de pessoa jurídica. A CNAE é um instrumento fundamental na produção de informações socioeconômicas no País.*

*Esta publicação apresenta a estrutura da versão 2.0 da CNAE, os princípios de organização, as definições e regras de aplicação, as*

*notas explicativas do conteúdo das categorias e as correspondências entre a CNAE 2.0 e a versão 1.0 anterior e a Classificação Industrial Internacional Uniforme – Revisão 4 (IBGE, 2012).”*

Esta tabela apresenta o agrupamento das atividades econômicas classificando-as com o objetivo de padronizar as unidades produtivas do país, contribuindo para tornar a base de dados econômicos e tributários o mais confiável e convergente possível.

Um trabalho minucioso é relevante nesta etapa, tendo em vista divergências metodológicas que ocorrem das diferentes formas de concentração das bases de dados econômicos e energéticos. Para tanto foram utilizadas planilhas disponibilizadas pelo MME através da Coordenação de Estudos Energéticos (C3E, 2011), setor responsável pela elaboração do BEN.

O trabalho de correlação entre os setores que compõem a tabela CNAE e a tabela do BEN foi de extrema complexidade, haja visto que não existe uma linearidade entre os dados publicados pelo IBGE e os dados publicados pelo BEN, uma vez que cada um serve a um propósito distinto, e suas bases de informação e atualização não seguem os mesmos requisitos temporais.

Nesta etapa foram feitas avaliações que permitiram as corretas composições dos setores mediante seus devidos consumos energéticos. Isso deve-se ao grande número de atividades econômicas preconizadas pela tabela CNAE versus a restrição de setores apresentada pelos balanços energéticos. Dentre as avaliações feitas a de maior relevância foi a composição das tabelas apresentadas abaixo, que foram obtidas à partir do entendimento das relações entre os setores CNAE e os devidos agrupamentos no BEN e no BEP.

Foram também realizadas entrevistas com especialistas que elaboram o balanços energéticos nacional e estadual, com vistas à redução das possibilidades de erros por meio da uniformidade entre as bases de dados socioeconômicos e energéticos. Para compreensão das relações citadas anteriormente foram consultados os coordenadores do balanço energético nacional, via representante do Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia do Ministério de Minas e Energia, bem como os especialistas da Diretoria de Novas Energias da Copel, através da coordenação de elaboração do BEP.

O objetivo das entrevistas e avaliações dos balanços foi justamente compreender e a elaboração da correlação econômica e energética adotada

pelo MME na elaboração do bem versus aquela adotada no nível estadual, nesta caso avaliada por meio do balanço energético do Paraná.

A avaliação das técnicas adotadas em âmbito nacional e estadual colaborou com explicações e considerações relevantes à compreensão da dinâmica energética estadual, que notadamente segue os conceitos do balanço nacional. Neste aspecto foram elaboradas as tabelas abaixo apresentadas, em parte aquelas já preconizadas pelos órgãos citados, e outras produzidas para o caso específico do planejamento energético estadual.

Neste caso o entendimento das correlações e agrupamentos foi base para a correta projeção do indicador de intensidade energética de cada setor, bem como do agrupamento proposto nas figuras 11 e 12 deste, do qual derivam as considerações para as projeções futuras em termos de oferta e demanda de energia no longo prazo.

A Figura 11 a seguir apresenta a agregação dos setores da economia em função das tabelas CNAE e IBGE, que permite encontrar a produção de PIB por setor de acordo com as premissas utilizadas pelo MME na composição do BEN.

<b>Setores CNAE/IBGE e Balanço Energético Nacional (BEN)</b>		
	<b>IBGE</b>	<b>BEN</b>
	<b>Agropecuária</b>	
0101	Agricultura, silvicultura e exploração florestal	agropecuário
0102	Pecuária e pesca	agropecuário
	<b>Indústria</b>	
0201	Petróleo e gás natural	Setor Energético
0202	Minério de ferro	Mineração e Pelotização
0203	Outros da indústria extrativa	Mineração e Pelotização
0301	Alimentos e bebidas	Alimentos e Bebidas
0302	Produtos do fumo	Outras Indústrias
0303	Têxteis	Têxtil
0304	Artigos do vestuário e acessórios	Outras Indústrias
0305	Artefatos de couro e calçados	Outras Indústrias
0306	Produtos de madeira - exclusive móveis	Outras Indústrias
0307	Celulose e produtos de papel	Papel e Celulose
0308	Jornais, revistas, discos	Outras Indústrias
0309	Refino de petróleo e coque	Setor Energético
0310	Álcool	Setor Energético (%) e Alimentos e Bebidas (%) ???
0311	Produtos químicos	Química
0312	Fabricação de resina e elastômeros	Química
0313	Produtos farmacêuticos	Outras Indústrias
0314	Defensivos agrícolas	Química
0315	Perfumaria, higiene e limpeza	Outras Indústrias
0316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	Química
0317	Produtos e preparados químicos diversos	Química
0318	Artigos de borracha e plástico	Outras Indústrias
0319	Cimento	Cimento e Cerâmica
0320	Outros produtos de minerais não-metálicos	Cimento e Cerâmica
0321	Fabricação de aço e derivados	Ferro Gusa e Aço + Ferroligas + Não Ferr/Outros Met.
0322	Metalurgia de metais não-ferrosos	Ferro Gusa e Aço + Ferroligas + Não Ferr/Outros Met.
0323	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	Ferro Gusa e Aço + Ferroligas + Não Ferr/Outros Met.
0324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	Outras Indústrias
0325	Eletrodomésticos	Outras Indústrias
0326	Máquinas para escritório e equipamentos de	Outras Indústrias
0327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	Outras Indústrias
0328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	Outras Indústrias
0329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e	Outras Indústrias
0330	Automóveis, camionetas e utilitários	Outras Indústrias
0331	Caminhões e ônibus	Outras Indústrias
0332	Peças e acessórios para veículos automotores	Outras Indústrias
0333	Outros equipamentos de transporte	Outras Indústrias
0334	Móveis e produtos das indústrias diversas	Outras Indústrias
0401	Produção e distribuição de eletricidade, gás, água,	75% Setor Energético e 25%
0501	Construção Civil	Outras Indústrias

CONTINUA

<b>Setores CNAE/IBGE e Balanço Energético Nacional (BEN)</b>		
	<b>IBGE</b>	<b>BEN</b>
	<b>Serviços</b>	
0601	Comércio	Comercial e Público
0701	Transporte, armazenagem e correio	Transporte
0801	Serviços de informação	Comercial e Público
0901	Intermediação financeira, seguros e previdência comple	Comercial e Público
1001	Atividades imobiliárias e aluguéis	Comercial e Público
1101	Serviços de manutenção e reparação	Comercial e Público
1102	Serviços de alojamento e alimentação	Comercial e Público
1103	Serviços prestados às empresas	Comercial e Público
1104	Educação mercantil	Comercial e Público
1105	Saúde mercantil	Comercial e Público
1106	Serviços prestados às famílias e associativas	Comercial e Público
1107	Serviços domésticos	Comercial e Público
1201	Educação pública	Comercial e Público
1202	Saúde pública	Comercial e Público
1203	Administração pública e seguridade social	Comercial e Público

FIGURA 11 – COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE TABELAS CNAE, IBGE E BEN  
FONTE: (C3E, 2011)

A Figura 12 abaixo apresenta a compatibilização final entre as composições feitas de acordo com o IBGE/CNAE e o BEN, de modo a possibilitar a avaliação correta entre os setores da economia e seus valores de PIB, proporcionando avaliações energéticas entre PIB e consumo, que serão apresentadas no decorrer do estudo através de indicadores relacionando estas variáveis.

<b>Compatibilização Final (IBGE x BEN)</b>
<b>SERVIÇOS</b>
<b>OUTROS SERVIÇOS</b>
<b>TRANSPORTE</b>
<b>AGROPECUÁRIO</b>
<b>INDUSTRIAL</b>
<b>MINERAÇÃO</b>
<b>TRANSFORMAÇÃO</b>
<b>NÃO METÁLICOS</b>
<b>METALURGIA</b>
<b>QUÍMICA</b>
<b>ALIMENTOS E BEBIDAS</b>
<b>TÊXTIL</b>
<b>PAPEL E CELULOSE</b>
<b>OUTROS</b>
<b>ENERGÉTICO</b>

FIGURA 12 – COMPATIBILIZAÇÃO FINAL IBGE X BEN  
FONTE: (C3E, 2011) e o Autor

A metodologia aplicada pelo MAED possui uma estrutura de agrupamento dos setores econômicos que difere das utilizadas no Brasil, incorporando aí uma dificuldade adicional para análise dos dados. Esta metodologia incorpora setores de produção diferentes dos agrupados nas estruturas econômicas do Brasil, portanto alguns ajustes de agrupamento são necessários visando reduzir os erros de projeções que utilizem os dados.

Abaixo é apresentada a organização dos setores econômicos conforme preconizado em AIEA (2010), e que leva em conta os seguintes setores para as análises e composição dos dados, conforme já apresentado nas formulações anteriormente descritas no item 2.6, sendo que a estruturação destes setores por parte do modelo é feita de forma a avaliar os impactos na demanda de energia derivados de mudanças nos indicadores econômicos.

- Agricultura;
- Construção;
- Mineração;
- Transformação;
- Serviços;
- Energia;

Tendo em vista a adequação à forma proposta nesta dissertação, as formulações foram agrupadas visando considerar apenas quatro setores da economia: Industrial, Transportes, Serviços e Residencial. Desta forma o agrupamento final proposto para o estudo de planejamento estadual, levando em conta as compatibilizações necessárias entre as tabelas apresentadas no âmbito nacional e estadual, e que são descritas neste item 3.5, ficou da seguinte forma:

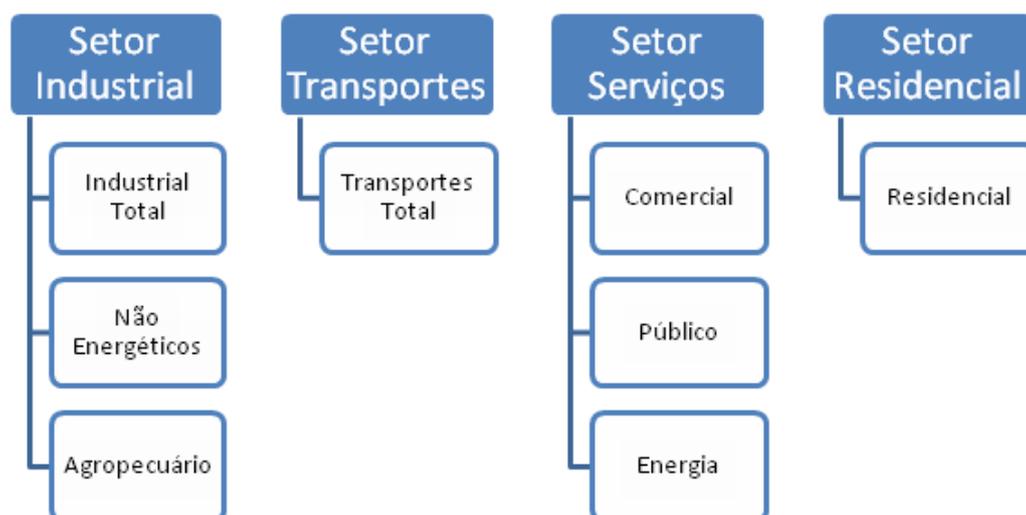


FIGURA 13 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA  
FONTE: O autor

Este agrupamento foi definido em função principalmente das premissas definidas para as projeções, e que envolvem as questões macroeconômicas, demográficas e tecnológicas, sendo que a validação realizada no item 3.5 já considera este agrupamento.

O PIB de cada um destes setores é o indicador que permite relacionar os aspectos econômicos de cada setor e associá-lo às questões energéticas por meio do consumo de energia do setor em questão. A composição destes determina o consumo total de energia do estado para cada setor, e permite associá-lo à capacidade de produção de capital do referido setor.

Esta relação entre o consumo de energia e o capital produzido representa o fator denominado tecnológico, e é definida como intensidade energética, que poder ser avaliada tanto por setor, quanto por atividades de cada setor, como ainda globalmente para todo o estado. Para cada setor relacionado anteriormente foram obtidos os fatores de intensidade energética, que representam as taxas de consumo de energia por unidade monetária associada, representada no estudo em kWh/US\$.

Este indicador não é próprio dos setores pesquisados, uma vez que os mesmos não possuem as metodologias para os levantamentos e cálculos, sendo que para o trabalho foi feito um levantamento dos dados existentes e das teorias que permitam obter dados estimados para os casos omissos. Para tanto foram aplicadas as tabelas apresentadas referentes ao PIB e ao consumo por setor, além das tabelas de conversão, bem como das considerações de agrupamentos dos setores citados anteriormente, visando a composição dos valores de intensidade energética vis à vis os setores organizados na formulações apresentadas.

Tendo em vista que os dados disponíveis para o Paraná não estavam contemplando todos os anos necessários aos cálculos, e tendo em conta que a base de dados do IBGE possibilita a composição do PIB dos setores econômicos do estado, foi utilizada a Tabela 04 abaixo, elaborada a partir dos

TABELA 04 – PARTICIPAÇÃO NO PIB POR ESTADO (%)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Sul</b>	<b>16,8</b>	<b>17,0</b>	<b>17,1</b>	<b>18,0</b>	<b>17,8</b>	<b>16,8</b>	<b>16,5</b>	<b>16,9</b>	<b>16,8</b>	<b>16,8</b>	<b>16,9</b>
Paraná	5,9	5,9	6,1	6,6	6,5	6,0	5,9	6,2	6,0	6,0	6,1
Santa Catarina	3,8	3,9	3,8	4,0	4,1	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2
Rio Grande do Sul	7,0	7,2	7,2	7,4	7,2	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8	6,6

dados do IBGE apresenta a participação das grandes regiões e unidades da Federação no valor adicionado bruto do PIB (IBGE, 2010).

A partir das publicações do IPARDES (2011) e do IBGE (2010) foram então compostos os valores do PIB estadual por segmento econômico, utilizando o PIB nacional e os valores da participação do estado, dos anos de 2000 até 2010, conforme pode ser observado na Tabela 05 abaixo apresentada:

TABELA 05 – PIB POR SETOR DA ECONOMIA DO ESTADO

PIB (bilhões U\$)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SOMA	86,70	87,84	93,23	102,03	106,22	101,15	103,40	115,27	117,29	116,58	127,41
SERVIÇOS	57,80	58,94	61,84	66,08	66,89	65,77	68,00	76,80	78,23	79,86	85,88
OUTROS SERVIÇOS	53,58	54,51	57,37	61,31	61,90	60,74	62,98	71,27	72,25	73,91	79,12
TRANSPORTE	4,22	4,43	4,47	4,77	4,99	5,02	5,01	5,53	5,98	5,95	6,75
AGROPECUÁRIO	4,86	5,25	6,17	7,54	7,34	5,77	5,67	6,41	6,92	7,11	7,39
INDUSTRIAL	20,31	20,29	21,42	23,07	26,76	24,08	23,96	25,97	25,41	24,53	27,82
MINERAÇÃO	0,51	0,47	0,59	0,66	0,87	0,83	0,78	0,78	1,23	0,47	1,08
TRANSFORMAÇÃO	19,80	19,82	20,83	22,41	25,89	23,25	23,18	25,19	24,17	24,07	26,73
NÃO METÁLICOS	0,60	0,60	0,64	0,79	0,79	0,65	0,75	0,68	0,82	0,89	0,99
METALURGIA	1,65	1,75	1,99	2,30	3,07	2,78	2,46	2,85	2,84	2,33	2,79
QUÍMICA	0,95	1,12	1,12	1,32	1,75	1,34	1,21	1,21	1,10	1,12	1,15
ALIMENTOS E BEBIDAS	1,99	2,32	2,33	2,66	3,09	2,81	2,83	2,74	2,70	2,63	2,84
TÊXTIL	0,71	0,72	0,68	0,71	0,78	0,73	0,70	0,72	0,70	0,68	0,73
PAPEL E CELULOSE	0,67	0,60	0,60	0,78	0,84	0,59	0,63	0,64	0,70	0,65	0,68
OUTROS	13,25	12,71	13,47	13,86	15,56	14,35	14,59	16,35	15,31	15,77	17,56
ENERGÉTICO	3,73	3,36	3,80	5,34	5,23	5,53	5,77	6,09	6,73	5,08	6,33

FONTE: ELABORADO A PARTIR DE IPARDES (2011) (2006) (2000) e IBGE, 2010

A Tabela 06 apresenta a parcela de cada setor na composição do PIB, de acordo com as tabelas anteriormente compostas a partir do IBGE e BEN, e calculadas de acordo com as formulações anteriormente apresentadas.

TABELA 06 – PARCELA DO PIB POR SETOR DA ECONOMIA DO ESTADO

TOTAL	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SOMA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
SERVIÇOS	66,67	67,10	66,33	64,77	62,97	65,02	65,76	66,63	66,70	68,50	67,40
OUTROS SERVIÇOS	61,80	62,06	61,54	60,09	58,27	60,05	60,91	61,83	61,60	63,40	62,10
TRANSPORTE	4,87	5,05	4,79	4,68	4,70	4,97	4,85	4,80	5,10	5,10	5,30
AGROPECUÁRIO	5,60	5,97	6,62	7,39	6,91	5,71	5,48	5,56	5,90	6,10	5,80
INDUSTRIAL	23,43	23,10	22,98	22,61	25,19	23,81	23,17	22,53	21,66	21,04	21,83
MINERAÇÃO	0,59	0,54	0,64	0,65	0,82	0,82	0,75	0,68	1,05	0,40	0,85
TRANSFORMAÇÃO	22,84	22,56	22,34	21,96	24,37	22,99	22,42	21,86	20,61	20,64	20,98
NÃO METÁLICOS	0,69	0,68	0,69	0,78	0,75	0,64	0,73	0,59	0,70	0,76	0,78
METALURGIA	1,90	1,99	2,13	2,25	2,89	2,75	2,38	2,48	2,42	2,00	2,19
QUÍMICA	1,10	1,28	1,20	1,29	1,65	1,33	1,17	1,05	0,94	0,96	0,90
ALIMENTOS E BEBIDAS	2,30	2,64	2,50	2,60	2,91	2,78	2,74	2,37	2,30	2,26	2,23
TÊXTIL	0,82	0,82	0,73	0,69	0,74	0,72	0,68	0,63	0,60	0,58	0,57
PAPEL E CELULOSE	0,77	0,69	0,64	0,76	0,79	0,59	0,61	0,56	0,60	0,56	0,53
OUTROS	15,28	14,47	14,45	13,58	14,65	14,18	14,11	14,18	13,05	13,52	13,78
ENERGÉTICO	4,30	3,83	4,08	5,23	4,92	5,46	5,58	5,28	5,74	4,36	4,97
Industrial total						28,45	28,00	27,14	26,35	25,00	25,95

FONTE: ELABORADO A PARTIR DE IPARDES (2011) (2006) (2000) e IBGE, 2010

A figura 14 apresenta o fluxograma resumido das atividades de levantamento dos dados macroeconômicos, aplicadas ao desenvolvimento deste item, conforme apresentado anteriormente.

Como pode ser visto no fluxograma, esta etapa requer uma maior avaliação e composição entre tabelas e dados externos, uma vez que envolve dados de produção de riquezas agrupados em decorrência dos consumos energéticos associados aos setores.



FIGURA 14 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA  
FONTE: O autor

### 3.2.3. Levantamento dos dados para demanda de energia

O levantamento de dados para composição do ano base das demandas energéticas por setor da economia é baseado no balanço energético estadual, que notadamente segue as mesmas prerrogativas de elaboração do balanço energético nacional, determinadas pela EPE.

Foram utilizados para os cálculos de demandas energéticas do Paraná, os balanços nacional e estadual, disponíveis nos sites dos respectivos órgãos que controlam elaboram e publicam estas informações, no caso do nacional o MME, e no caso do estadual a COPEL.

A demanda de energia, como já citado anteriormente, é calculada como uma função do ano base e dos cenários projetados em função dos aspectos de desenvolvimento socioeconômicos e tecnológicos. A metodologia apresenta os cálculos de demanda de energia para os setores industrial, transportes, serviços e residencial, como já relacionados anteriormente.

Tendo em vista a competição entre energéticos no uso final da energia, intrínseca à sistemática de consumo de energia de um país ou região considerada, a demanda é calculada em termos de energia útil no uso final por setor, e posteriormente convertida em energia final em toneladas equivalentes de petróleo - tep, levando em conta os respectivos fatores de conversão de cada tipo de energia, bem como suas taxas de penetração por setor.

A Tabela 07 apresenta os valores adotados nas taxas de conversão por tipo de fonte energética, sendo que foram apresentadas apenas as conversões utilizadas para os cálculos.

TABELA 07 – FATORES DE CONVERSÃO PARA ENERGIA

Fatores de conversão para energia					
de » para	Multiplicar por				
	J	Btu	cal	kWh	tep
joule (J)	1,0	$947,8 \times 10^{-6}$	0,23884	$277,7 \times 10^{-9}$	$2,388 \times 10^{-11}$
British Thermal Unit (Btu)	$1,055 \times 10^3$	1,0	252,0	$293,07 \times 10^{-6}$	$2,52 \times 10^{-8}$
caloria (cal)	4,1868	$3,968 \times 10^{-3}$	1,0	$1,163 \times 10^{-6}$	$10^{-10}$
quilowatt-hora (kWh)	$3,6 \times 10^6$	3.412,0	$860,0 \times 10^3$	1,0	$8,6 \times 10^{-5}$
tonelada equivalente de petróleo (tep)	$41,87 \times 10^9$	$39,68 \times 10^6$	$10,0 \times 10^9$	$11,63 \times 10^3$	1,0

Exemplo de utilização:  $1 \text{ J} = 277,7 \times 10^{-9} \text{ kWh}$

FONTE: ANEEL, 2008

A Tabela 08 apresenta os valores de consumo energético desagregado para cada setor do uso final, de acordo com o balanço energético estadual. Os valores apresentados para cada setor são oriundos do balanço estadual, e concentram informações de diversos produtores do estado bem como informações de âmbito nacional, principalmente com relação aos combustíveis de origem fóssil, que são em sua maioria produzidos e mantidos sobre o controle da PETROBRÁS, empresa parcialmente estatal que opera e comercializa o petróleo bruto e os produtos derivados de petróleo.

Para uniformizar as fontes de dados, foram utilizados os setores agrupados conforme definido anteriormente no item 3.5.1.

Tal agrupamento foi necessário para coesão entre os cenários e redução dos erros na formação do ano base, uma vez que a composição que considera o consumo energético deve estar em sintonia com a composição que apresenta os resultados do PIB para os setores econômicos.

TABELA 08 – CONSUMO ENERGÉTICO DESAGREGADO PARANÁ POR SETOR

Evolução do Consumo Final por Setor - Paraná											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CONS. FINAL NÃO ENERG.	595	575	651	542	588	652	748	770	660	714	724
CONS. FINAL ENERG.	11.103	11.739	11.945	12.349	13.124	13.184	13.652	14.508	15.815	16.079	16.304
SETOR ENERGÉTICO	991	1.118	1.108	1.193	1.216	1.149	1.384	1.506	1.619	1.679	1.703
RESIDENCIAL	1.295	1.272	1.261	1.274	1.317	1.336	1.362	1.399	1.448	1.471	1.492
COMERCIAL	280	288	294	307	325	341	358	386	411	432	438
PÚBLICO	156	156	161	165	167	208	213	227	235	243	246
AGROPECUÁRIO	566	611	670	754	828	856	834	880	912	912	925
TRANSPORTE - TOTAL	3.968	4.140	4.111	4.267	4.572	4.657	4.600	4.801	5.203	5.282	5.356
RODOVIÁRIO	3.489	3.580	3.584	3.650	3.955	4.000	3.888	4.195	4.483	4.481	4.544
FERROVIÁRIO	68	80	86	94	84	70	73	80	93	95	96
AÉREO	127	109	109	85	89	106	107	110	115	136	138
AQUAVIÁRIO	284	371	332	438	444	481	532	416	512	570	578
INDUSTRIAL - TOTAL	3.847	4.154	4.340	4.389	4.699	4.637	4.901	5.309	5.987	6.060	6.145
CIMENTO	438	492	485	513	529	522	510	522	592	604	612
FERRO GUSA E AÇO	28	35	40	43	59	53	52	54	48	33	33
MINERAÇÃO/PELOTIZAÇÃO	9	9	12	8	11	12	8	9	10	11	11
NÃO FERR./OUT. METAL.	16	17	13	14	17	20	23	26	31	32	32
QUÍMICA	269	269	283	257	260	250	251	281	272	288	292
ALIMENTOS E BEBIDAS	1.269	1.402	1.447	1.587	1.653	1.567	1.819	2.133	2.341	2.375	2.408
TÊXTIL	38	34	32	35	37	40	43	43	45	42	43
PAPEL E CELULOSE	846	888	965	924	966	1.011	1.034	1.057	1.373	1.426	1.446
CERÂMICA	382	378	372	341	371	336	319	321	340	339	344
CAL	148	148	151	152	153	154	154	152	160	155	157
OUTROS	404	482	540	515	643	672	688	711	775	755	766
CONSUMO NÃO IDENTIF.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO FINAL	11.698	12.314	12.596	12.891	13.712	13.836	14.400	15.278	16.475	16.793	17.025

FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEP (2010)

A Tabela 09 apresenta os valores de consumo energético desagregado para cada tipo de fonte disponível no estado, separadas em energia primária e secundária.

Foi utilizada como exemplo a tabela do ano de 2000, no entanto foram adotadas todas as tabelas desde 2000 até 2010, para posteriormente

comporem a base de dados necessários para avaliação das tendências de projeção para futuro.

A elaboração desta tabela teve como base o balanço energético estadual - BEP, onde estão concentradas todas as informações das fontes de produção primárias e secundárias, bem como os consumos do estado. O entendimento de cada etapa das cadeias de produção primária, secundária e final é bastante importante para concepção do planejamento de longo prazo, neste caso sumarizado através da variação dos indicadores econômicos, sociais e suas implicações na demanda de energéticos.

TABELA 09 –EXEMPLO BALANÇO DO CONSUMO POR TIPO DE ENERGÉTICO

BALANÇO CONSOLIDADO DO ESTADO DO PARANÁ - 2000 -*(1.000 Tep)															
ENERGIA PRIMÁRIA													TOTAL		
FLUXOS DE ENERGIA	PETRÓ- LEO	GÁS NATURAL	XISTO	CARVÃO MINERAL	ENERGIA HIDRAUL	LENHA	RESÍDUO MADEIRA	PRODUTOS DA CANA	OUTRAS FONTES	TOTAL PRIMÁRIA			PRIMÁRIA + SECUNDÁRIA		
CONSUMO FINAL	0	106	151	2	0	1.167	673	1.072	208	3.379			11.698		
CONS. FINAL NÃO ENERG.	0	0	0	0	0	0	0	33	0	33			595		
CONS. FINAL ENERG.	0	106	151	2	0	1.167	673	1.039	208	3.346			11.103		
SETOR ENERGÉTICO	0	62	24	0	0	0	0	445	0	531			991		
RESIDENCIAL	0	0	0	0	0	408	0	0	0	408			1.295		
COMERCIAL	0	0	0	0	0	18	0	0	0	18			280		
PÚBLICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			156		
AGROPECUÁRIO	0	0	0	0	0	180	0	0	0	180			566		
TRANSPORTE - TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			3.968		
INDUSTRIAL - TOTAL	0	44	127	2	0	561	673	594	208	2.209			3.847		
ENERGIA SECUNDÁRIA															
FLUXOS DE ENERGIA	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMBUS	GASO- LINA	GLP	NAFTA	QUERO- SENE	GÁS XISTO	ELETRI- CIDADE	CARVÃO VEGETAL	ÁLCOOL ETÍLICO	OUTRAS FONTES	NÃO ENERG.	TOTAL SECUNDÁRIA		
CONSUMO FINAL	2.557	878	989	533	0	133	37	1.561	41	383	665	542	8.319		
CONS. FINAL NÃO ENERG.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	542	562		
CONS. FINAL ENERG.	2.557	878	989	533	0	133	37	1.561	41	363	665	0	7.757		
SETOR ENERGÉTICO	0	124	0	0	0	0	27	43	0	0	266	0	460		
RESIDENCIAL	0	0	0	457	0	6	0	394	30	0	0	0	887		
COMERCIAL	3	4	0	23	0	0	0	225	7	0	0	0	262		
PÚBLICO	11	2	0	0	0	0	0	143	0	0	0	0	156		
AGROPECUÁRIO	278	0	0	9	0	0	0	99	0	0	0	0	386		
TRANSPORTE - TOTAL	2.230	261	989	0	0	125	0	0	0	363	0	0	3.968		
INDUSTRIAL - TOTAL	35	487	0	44	0	2	10	657	4	0	399	0	1.638		

FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEP (2010)

Esta tabela permite que sejam calculadas as penetrações dos energéticos disponíveis no estado para os devidos setores de consumo. A penetração dos energéticos determinará as tendências de substituição entre energéticos, baseado na evolução das taxas consumidas em cada setor ao longo dos últimos dez anos.

A Tabela 10 abaixo apresenta a penetração dos energéticos no ano de 2010, elaborado de acordo com as considerações entre os combustíveis e suas taxas de uso para cada setor à partir do BEP - Balanço Energético do Paraná.

TABELA 10 – PENETRAÇÃO DOS ENERGÉTICOS POR SETOR EM 2010

	Fósseis	Biomassa	Eleticidade	Combustíveis Tradicionais	Outros
<b>SERVIÇOS</b>	<b>8%</b>	<b>1%</b>	<b>27%</b>	<b>51%</b>	<b>11%</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	<b>0%</b>	<b>37%</b>	<b>34%</b>	<b>29%</b>	<b>0%</b>
<b>TRANSPORTE - TOTAL</b>	<b>53%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>46%</b>	<b>0%</b>
<b>INDUSTRIAL - TOTAL</b>	<b>8%</b>	<b>34%</b>	<b>14%</b>	<b>33%</b>	<b>11%</b>

FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEP (2010)

Os dados elaborados para o estudo contemplam valores desde o ano 2000 até o ano de 2010, permitindo assim verificar o comportamento da penetração dos diferentes energéticos nos setores econômicos abordados ao longo do tempo.

A metodologia do modelo MAED não separa o consumo de combustíveis fósseis em seus componentes (Carvão, Gás, Diesel, etc). Isto deve-se à variação muito grande a que estes energéticos estão sujeitos por questões de suprimento e preço, aspectos não considerados na modelagem da demanda. O que se considerada são as substituições dentre os energéticos, levando em conta a potencialidade destes em aumentarem suas penetrações no mix de produção de energia, proporcionando assim transformações estruturais nas formas de demanda de energia no longo prazo.

A demanda energética é totalmente ligada ao crescimento do PIB e dos índices demográficos, bem como às suas estruturas, representadas pela parcela do PIB e pela penetração de cada energético por setor, respectivamente. Portanto são premissas importantes os aspectos principais de cada setor, como o PIB, a penetração dos energéticos em cada setor, além de aspectos tecnológicos próprios de cada setor da economia, neste caso a intensidade energética.

A figura 15 apresenta o fluxograma resumido das atividades de levantamento e agrupamento dos dados de demanda energética, aplicadas ao desenvolvimento deste item, e relacionados aos itens anteriores.

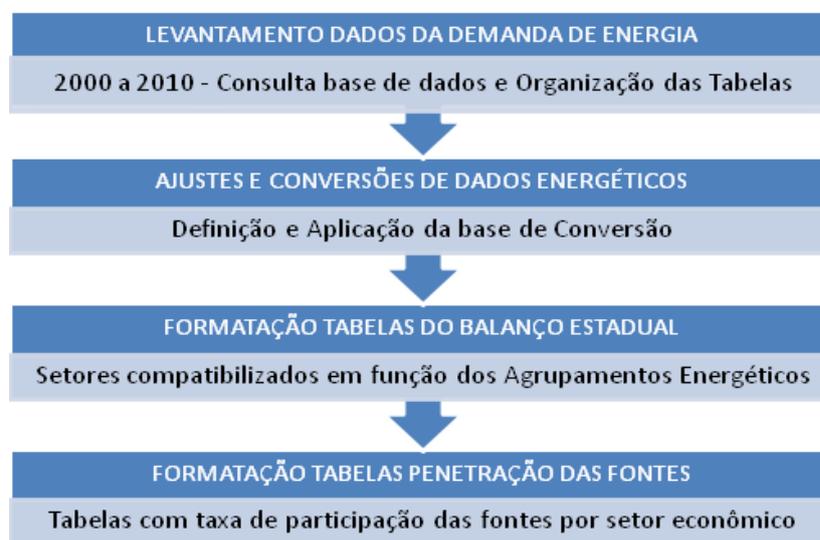


FIGURA 15 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA  
FONTE: O autor

#### 3.2.4. Levantamento dos dados para a oferta de energia

O levantamento será apresentado ao longo deste capítulo, levando em conta o Plano Nacional de Energia, os dados do BEP e os dados de publicações estaduais disponíveis a cerca do potencial energético do estado para o longo prazo, sendo que a modelagem da oferta de energia foi feita utilizando o modelo MESSAGE, conforme já descrito anteriormente quanto suas funcionalidades e aplicações.

A compreensão da dinâmica de oferta e da disponibilidade de energéticos do estado, frente a diversificação das matrizes e conjunção dos fatores associada à demanda de energia nos determinados setores da economia da região, trará a melhor disponibilidade de oferta de energia considerando as variáveis apresentadas, pautadas na ótica da otimização de preços e nas restrições colocadas.

Foram utilizadas as duas variáveis de restrição abaixo listadas, que são obtidas à partir de composições de balanços e publicações de órgãos distintos, uma vez que não existem as informações concentradas em um único

documento com a finalidade de aplicação para projeção e planejamento energético de longo prazo.

→Taxa de penetração de tecnologias de produção de energia no mix energético da região em análise;

→Disponibilidade e preço de energéticos das cadeias de suprimento;

#### **3.2.4.1. Formatação da cadeia energética no modelo de oferta**

A composição dos dados de oferta requer, sobretudo, uma análise substancial das modalidades de geração possíveis consideradas no mix energético da região em análise, bem como das políticas de longo prazo consideradas nestas regiões.

No caso do Paraná, obteve-se a partir do BEP (2010) a composição das fontes de produção de energia, conforme apresentado abaixo, sendo que foram considerados três formas de oferta de energia, para as quais se associam as fontes anteriormente citadas:

→Oferta de Petróleo e Derivados;

→Oferta de Bioenergia;

→ Oferta de Eletricidade.

Para cada forma de energia foram agrupados os devidos combustíveis, de acordo com as correspondências, tendo em vista que o BEP (2010) apresenta uma série de combustíveis divididos entre as três formas de oferta de energia postas no modelo.

Desta forma a Tabela 11 apresenta como exemplo os resultados para oferta de energia apresentada pelo BEP (2010), neste caso de oferta primária de energia, que posteriormente será considerada para composição e formatação da cadeia de suprimento de energia.

Como apresentado anteriormente, nesta etapa considera-se o mesmo agrupamento de fontes que foi ordenado para composição da penetração das fontes na demanda. Abaixo segue a relação segmentando entre fontes primárias e sua composição:

- Combustível Fóssil – Petróleo, Gás Natural;
- Biomassa – Lenha, resíduo de Madeira;
- Eletricidade – Energia Hidráulica;
- Combustíveis Tradicionais – Xisto, Produtos de Cana, Carvão Mineral,
- Outras Fontes – Licor Negro, Gás de Processo

FLUXOS DE ENERGIA	PETRÓLEO	GÁS NATURAL	XISTO	CARVÃO MINERAL	ENERGIA HIDRAUL	LENHA	RESÍDUO MADEIRA	PRODUTOS DA CANA	OUTRAS FONTES	TOTAL PRIMÁRIA
<b>PRODUÇÃO</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>182</b>	<b>53</b>	<b>7.057</b>	<b>1.665</b>	<b>1.620</b>	<b>3.742</b>	<b>355</b>	<b>14.674</b>
<b>IMPORTAÇÃO</b>	<b>3.014</b>	<b>602</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.616</b>
<b>IMPORTAÇÃO ESTADUAL</b>	<b>6.741</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.743</b>
<b>VARIAÇÃO DE ESTOQUES</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-7</b>
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>9.755</b>	<b>602</b>	<b>182</b>	<b>48</b>	<b>7.057</b>	<b>1.665</b>	<b>1.620</b>	<b>3.742</b>	<b>355</b>	<b>25.026</b>
<b>EXPORTAÇÃO</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>EXPORTAÇÃO ESTADUAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>OFERTA INTERNA BRUTA</b>	<b>9.755</b>	<b>602</b>	<b>182</b>	<b>48</b>	<b>7.057</b>	<b>1.665</b>	<b>1.620</b>	<b>3.742</b>	<b>355</b>	<b>25.026</b>

TABELA 11 – OFERTA DE ENERGIA PRIMÁRIA POR TIPO DE FONTE  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEP (2010)

Com relação à oferta de energia secundária, abaixo segue a relação segmentando entre fontes e sua composição de acordo com o BEP (2010):

- Combustível Fóssil – Óleo Combustível, Óleo Diesel;
- Biomassa – Carvão vegetal;
- Eletricidade – Eletricidade;
- Combustíveis Tradicionais – Gasolina, GLP, Nafta, Querosene, Gás de Xisto, Álcool Etílico;
- Outras Fontes – Cogeração, Energia Solar

Assim como a tabela anterior, para a consideração dos dados de oferta secundária de energia foi também composta uma tabela considerando o agrupamento proposto acima no nível energético secundário.

A consideração das fontes de energia primária e secundária, bem como seus consumos finais apontados nos estudos da demanda, leva à elaboração de uma cadeia de energéticos, na qual o modelo opera as considerações de otimização de recursos e preços, visando obter as ofertas de determinados tipos de energéticos a partir das restrições apontadas.

Cabe salientar que ambas as cadeias citadas não possuem políticas estaduais que permitam desenvolver uma metodologia ou mesmo criar modelos externos de alta assertividade, uma vez que as políticas aplicadas a estas cadeias energéticas são determinadas no âmbito nacional, e cada estado operacionaliza à sua maneira.

Tendo em vista a complexidade apresentada tanto pelo modelo quanto pelas formas de disponibilidade dos dados, e visando o agrupamento correto à medida que as análises foram se completando, foram agrupadas as cadeias energéticas de maior complexidade como, por exemplo, a cadeia do petróleo e derivados, da qual não se dispõem de informações exatas com relação à expansão da oferta no longo prazo no âmbito estadual, bem como da cadeia de biocombustíveis, que ainda depende fortemente de diretrizes políticas em cada estado, e que não estão definidas atualmente.

Todavia para a cadeia de produção de eletricidade é possível obter resultados mais assertivos, visto que os dados da Companhia do estado já são internalizados, além do fato de possuírem grupos dedicados ao estudo aprofundado do comportamento da produção e consumo de energia.

Desta forma o modelo MESSAGE, após a inserção dos dados de fontes primárias e secundárias, apresenta a cadeia de avaliação da oferta considerando ainda as fontes de produção da energia. O modelo avalia desde o nível dos recursos energéticos, até a demanda final por eles, passando pelos processos de transformação da energia da produção ao consumo.

Abaixo está apresentada a estrutura de cadeia energética para o estado do Paraná no ano de 2009, tomando por base os dados do Balanço energético estadual do Paraná – BEP, e considerando a modelagem realizada a partir do MESSAGE.

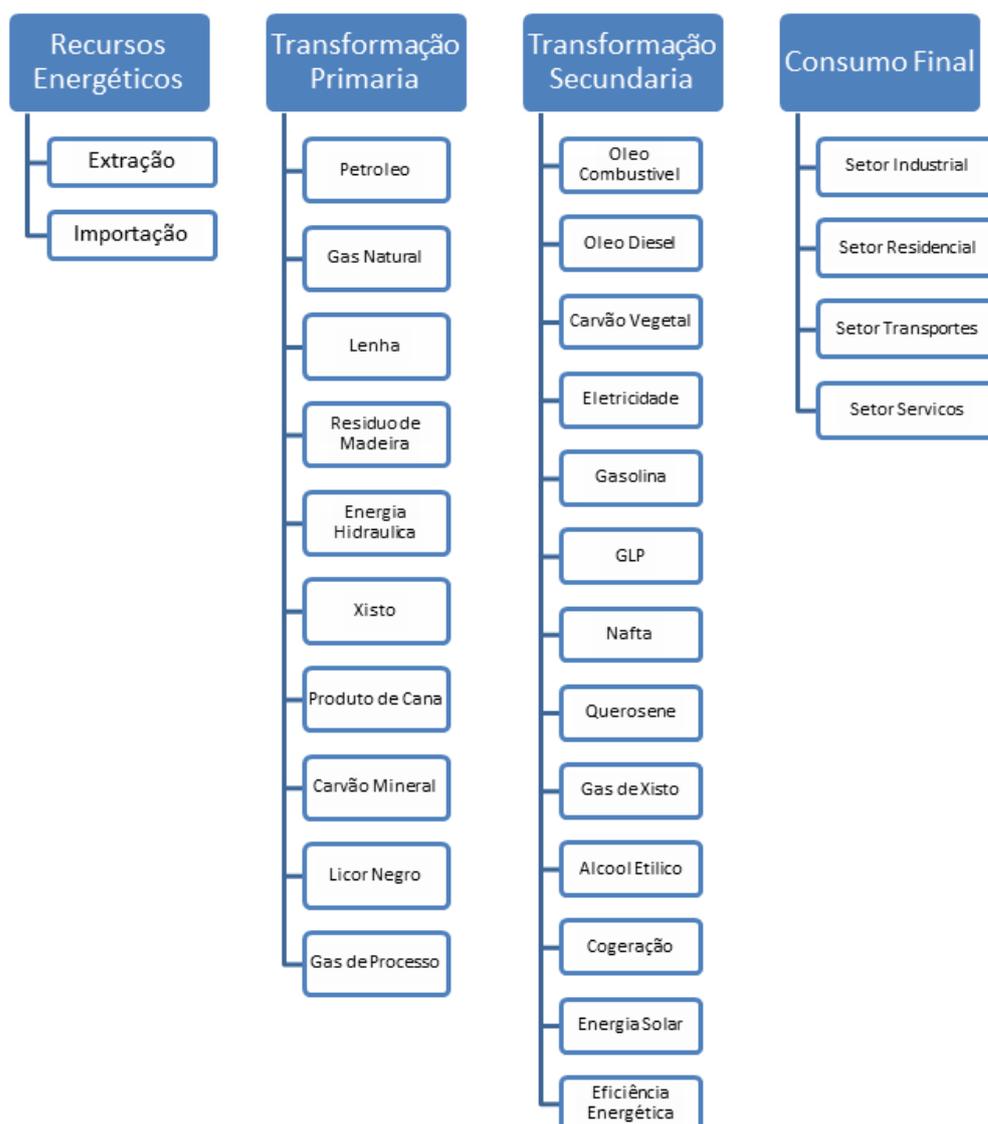


FIGURA 16 – CADEIA DE ENERGETICOS COMPLETA DO PARANA 2009  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEE (2010)

A definição da relação entre os energéticos é obtida a partir do balanço energético apresentado anteriormente, onde as relações entre cada etapa da cadeia, bem como os montantes de energia entre as etapas, são explícitas em toneladas equivalentes de petróleo (tep), em dados anualizados.

Com relação aos recursos energéticos primários oriundos do estado, são apresentados a seguir as considerações e pesquisas obtidas nos órgãos que controlam e disponibilizam informações sobre o tema, sendo que a avaliação da oferta foi dividida conforme explicitado anteriormente, em Oferta de Petróleo e Derivados, Oferta de Biocombustíveis e Oferta de Eletricidade.

Para cada item dos três acima apontados, foram feitas as considerações com relação à capacidade existente de produção e às premissas de longo

prazo para evolução de capacidade de produção, visando principalmente confrontar os resultados com as demandas apontadas nos cenários de Demanda apresentados, uma vez que o objetivo é atender à totalidade a demanda requerida no longo prazo.

A inserção no modelo de oferta dos dados de demanda acontece por meio das cadeias apresentadas, sendo que para cada tipo de demanda final são necessários os parâmetros obtidos nos resultados do MAED, com os valores de demanda em tep, e a respectiva taxa de crescimento observada do energético em análise.

A partir do ano base inserido no modelo serão feitos os anos seguintes, conforme o período de projeção considerado de 2010 a 2040 com intervalos de 5 anos, e levando em conta os dados consolidados de 2000 a 2010, idem à modelagem feita para a obtenção do ano base da demanda.

#### **A) Aspectos considerados para a oferta de petróleo e derivados**

O Estado do Paraná não produz petróleo ou gás natural, sendo que apenas produz em pequena escala carvão mineral para fim energético. Porém dado seu consumo elevado, o Paraná possui uma refinaria para atendimento de suas demandas energéticas de derivados de petróleo, que atualmente representa cerca de 12% do fornecimento de derivados de petróleo do Sul do País, e tem capacidade instalada de 189mil barris/ dia de refino de petróleo.

Considerando as capacidades obtidas no BEP (2010), bem como as equivalências citadas acima, foram formatadas as tabelas a seguir para modelagem dos dados de oferta primária e secundária de derivados de petróleo, para os anos de 2000 até 2010, como segue.

Conforme apresentado anteriormente no item 4.5.3, para as fontes primárias de energia, as tabelas de convergência entre os energéticos utilizada para inserir no modelo foram as seguintes:

##### **Energia Primária:**

- Combustível Fóssil – Petróleo, Gás Natural;
- Combustíveis Tradicionais – Xisto, Carvão Mineral,

→ Outras Fontes – Licor Negro, Gás de Processo

A Figura 17 apresenta a evolução gráfica da oferta de energia primária advindo dos derivados de petróleo ao longo do período de referência.

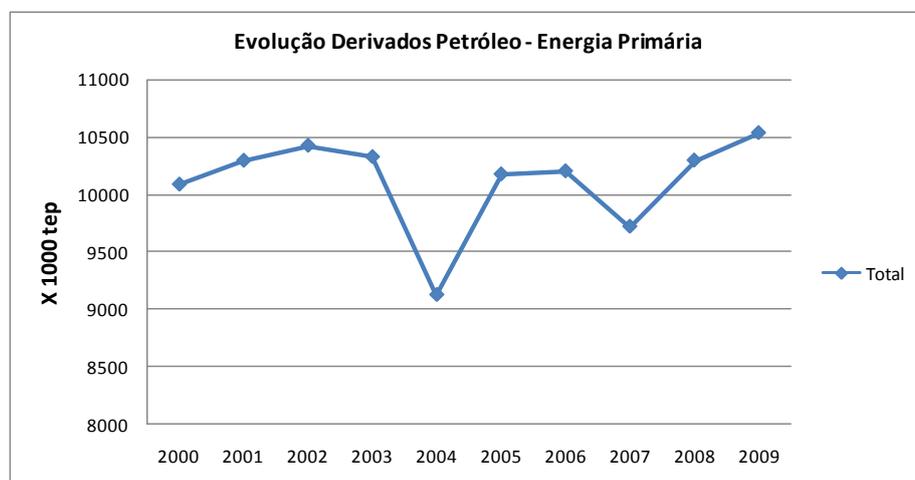


FIGURA 17 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA PRIMÁRIA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEE (2010)

**Energia Secundária:**

- Combustível Fóssil – Óleo Combustível, Óleo Diesel;
- Combustíveis Tradicionais – Gasolina, GLP, Nafta, Querosene, Gás de Xisto, Álcool Etílico;

Similar à avaliação da oferta primária, a oferta secundária é apresentada graficamente na Figura 18, que demonstra a evolução desta oferta ao longo do período de referência.

É importante verificar que os valores negativos indicam que houve a

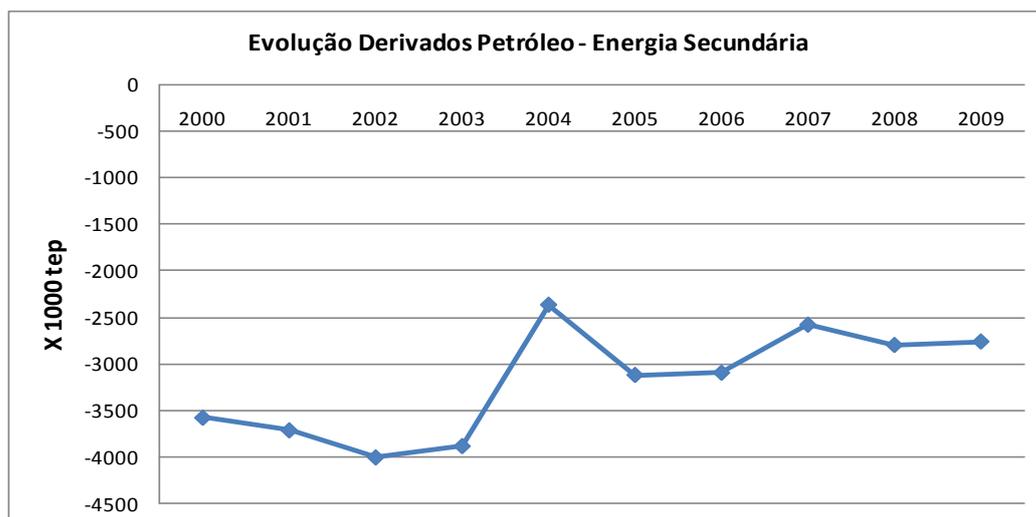


FIGURA 18 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SECUNDÁRIA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEP (2010)

exportação de derivados de petróleo no nível de energia secundária, o que indica que a energia primária oriunda dos derivados de petróleo atende à demanda e ainda é suficiente para exportação.

### **B) Aspectos considerados para a oferta de bioenergia**

Conforme consta no PNE 2030, a bioenergia é um forte vetor no trabalho de mitigação dos impactos gerados pelas emissões de gases de efeito estufa, bem como um importante energético alternativo na substituição dos combustíveis fósseis, tendo inclusive sido pactuado dentre os objetivos do milênio estabelecidos pela ONU, dentre os quais se levando em conta que o uso energético da biomassa contribui na erradicação da pobreza extrema e da fome, além de assegurar o desenvolvimento sustentável por meio da criação de novos arranjos produtivos locais.

No contexto mundial o Brasil ocupa lugar de destaque em capacidade de produção de biomassa, sendo que conforme o PNE 2030, o programa PROALCOOL lançado na década de 70, contribuiu para diminuir a dependência externa do petróleo no período dos choques, além de solidificar a matriz deste energético no país, que atualmente se situa na condição de maior produtor mundial de cana de açúcar.

“Em regime normal de operação de mercado, o rendimento médio nacional para cada tonelada de cana-de-açúcar moída fornece 71 kg de açúcar, 42 litros de álcool ou 11,5 toneladas de açúcares totais recuperáveis por hectare de cana-de-açúcar cultivada. O uso de bagaço como combustível equivale a 17,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, o que corresponde a todo o Gás Natural e ao óleo combustível usados no País (PNE, 2030).”

Com relação à Bioenergia também se destacam os programas federais que impulsionaram a matrizes de produção de matéria prima associadas ao Biodiesel, por meio de incentivos ao aumento deste na composição do óleo diesel, sendo que para isso foi instituída uma política nacional no intuito de estimular este mercado e criar um ambiente de desenvolvimento contínuo das tecnologias que dão suporte.

“Na esteira do sucesso do Proálcool como combustível nacional renovável em substituição aos derivados de petróleo, o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) para a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, da produção e uso do Biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda.

A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório será de 5% oito anos após a publicação da referida lei, havendo um percentual obrigatório intermediário de 2% três anos após a publicação da mesma. Diferentes espécies de oleaginosas no Brasil poderão ser utilizadas na produção do biodiesel, entre elas mamona, dendê, girassol, babaçu, soja e algodão (PNE, 2030).”

Um projeto do governo Federal, que envolveu os Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de Ciência e Tecnologia, de Minas e Energia, e de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, publicou as diretrizes da política de agroenergia, sendo que esta considerou quatro linhas mestre para ações de desenvolvimento das matrizes energéticas, sendo elas: (a) álcool; (b) biodiesel; (c) florestas energéticas cultivadas e (d) resíduos agroflorestais.

O Paraná neste aspecto se posicionou de forma a participar e valorizar seus energéticos, de maneira a inserir o estado na prospecção nacional. Como pode ser visto em ECOPAR(2012), em 2003 o governo do Paraná, por meio do Decreto nº2.101, de 10 de novembro, instituiu o Programa Paranaense de Bioenergia, que era coordenado pela Secretaria Estadual de Abastecimento – SEAB, e também pela Secretaria Estadual da Ciência e Tecnologia e Ensino Superior – SETI, sendo que os responsáveis pela execução do programa foram Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado – EMATER, e o Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR.

A figura 19 abaixo apresenta o diagrama básico que demonstra a operação do programa mencionado e suas vertentes.

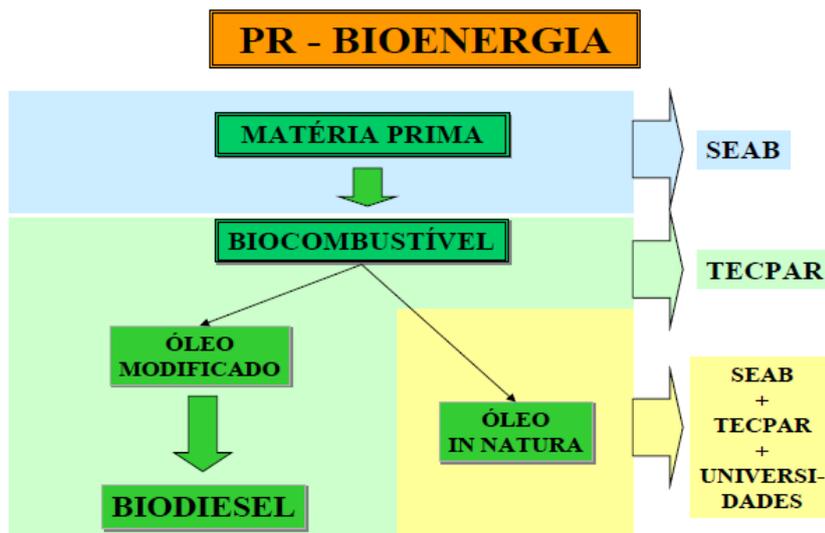


FIGURA 19 – ORGANOGrama REPRESENTATIVO DO PROGRAMA PR BIOENERGIA  
 FONTE:ECOPAR (2012)

Ainda conforme consta em ECOPAR (2012), no que se refere à comercialização do biodiesel no mercado brasileiro após a instauração do mercado de biodiesel, o MME baixou a Portaria nº 483, em 03 de outubro de 2005, na qual estabeleceu as diretrizes para a realização pela Agência Nacional de Petróleo – ANP, de leilões públicos para aquisição de biodiesel, nas modalidades previstas na Lei de licitações, e de acordo com as regras consideradas no programa.

Conforme ANP (2012), a capacidade Nacional de produção é da ordem de 6.770.862 m<sup>3</sup>/ano, dos quais são produzidos atualmente cerca de 2.672.759 m<sup>3</sup> anuais, o que representa algo em torno de 40% da capacidade de produção total nacional.

Com relação ao aspecto de produção e capacidade nacional, o Paraná apresenta um potencial de 4,3% do total nacional atual, de acordo com ANP (2012), onde consta a capacidade nacional avaliada desde 2005 até 2011, para a produção do Biodiesel B100.

A Tabela 12 apresenta um resumo das capacidades, sendo que em nível nacional o PNPB está alcançando seus propósitos de introduzir o biodiesel na matriz energética nacional, na medida das necessidades planejadas, sendo inclusive já suficiente, conforme demonstrado em ECOPAR(2012), para que o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE considere nos planos de longo prazo a inserção em maiores taxas de mistura o biodiesel ao óleo diesel.

TABELA 12 –CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL POR ESTADO

Grandes regiões e unidades da Federação	Produção de biodiesel (B100) - (m <sup>3</sup> )							11/10 %
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
<b>Brasil</b>	<b>736</b>	<b>69.002</b>	<b>404.329</b>	<b>1.167.128</b>	<b>1.608.448</b>	<b>2.386.399</b>	<b>2.672.760</b>	<b>12,00</b>
<b>Região Norte</b>	<b>510</b>	<b>2.421</b>	<b>26.589</b>	<b>15.987</b>	<b>41.821</b>	<b>95.106</b>	<b>103.446</b>	<b>8,77</b>
Rondônia	-	-	99	228	4.779	6.190	2.264	-63,42
Pará	510	2.421	3.717	2.625	3.494	2.345	-	..
Tocantins	-	-	22.773	13.135	33.547	86.570	101.182	16,88
<b>Região Nordeste</b>	<b>156</b>	<b>34.798</b>	<b>172.200</b>	<b>125.910</b>	<b>163.905</b>	<b>176.994</b>	<b>176.417</b>	<b>-0,33</b>
Maranhão	-	-	23.509	36.172	31.195	18.705	-	..
Piauí	156	28.604	30.474	4.548	3.616	-	-	..
Ceará	-	1.956	47.276	19.208	49.154	66.337	44.524	-32,88
Bahia	-	4.238	70.942	65.982	79.941	91.952	131.893	43,44
<b>Região Sudeste</b>	<b>44</b>	<b>21.562</b>	<b>37.023</b>	<b>185.594</b>	<b>284.774</b>	<b>420.328</b>	<b>379.410</b>	<b>-9,73</b>
Minas Gerais	44	311	138	-	40.271	72.693	76.619	5,40
Rio de Janeiro	-	-	-	-	8.201	20.177	7.716	-61,76
São Paulo	-	21.251	36.885	185.594	236.302	327.458	295.076	-9,89
<b>Região Sul</b>	<b>26</b>	<b>100</b>	<b>42.708</b>	<b>313.350</b>	<b>477.871</b>	<b>675.668</b>	<b>976.928</b>	<b>44,59</b>
Paraná	26	100	12	7.294	23.681	69.670	114.819	64,80
Rio Grande do Sul	-	-	42.696	306.056	454.189	605.998	862.110	42,26
<b>Região Centro-Oeste</b>	<b>-</b>	<b>10.121</b>	<b>125.808</b>	<b>526.287</b>	<b>640.077</b>	<b>1.018.303</b>	<b>1.036.559</b>	<b>1,79</b>
Mato Grosso do Sul	-	-	-	-	4.367	7.828	31.023	296,31
Mato Grosso	-	13	15.170	284.923	367.009	568.181	499.950	-12,01
Goiás	-	10.108	110.638	241.364	268.702	442.293	505.586	14,31

FONTE:ANP(2012)

Todavia no Paraná não houve grande avanço nas últimas duas décadas do século XX, mesmo considerando o plano nacional, e o desenvolvimento tecnológico disponível no mercado. Desta forma a inserção do estado no PNPB foi tímida, sendo que não foi possível atender à demanda interna por meio de sua produção, ao que se podem associar dificuldades na cadeia produtiva, uma vez que o arranjo tecnológico foi considerado à época um dos melhores em

termos de soluções tecnológicas e desenvolvimento de competência técnica e científica.

“Entretanto, no que se refere à estrutura industrial paranaense para a produção de biodiesel, ela ainda se mostra incipiente, comparada à de outros Estados da própria região e, mesmo de outras regiões brasileiras. Até julho de 2007, o Paraná tinha apenas duas fábricas de biodiesel autorizadas pela ANP a produzir biodiesel (Biolix e Biopar, com capacidade de 9 e 36 milhões de litros por ano, respectivamente), cujo volume conjunto alcançava cerca de 45 milhões de litros por ano, instaladas no município de Rolândia.

Quanto ao consumo de biodiesel no Paraná, os dados da ANP, referente à venda de combustíveis líquidos pelas distribuidoras paranaenses, mostram que em 2006, foram comercializados no mercado estadual aproximadamente 122,9 milhões de litros de óleo diesel com a mistura B2 de biodiesel. Esse volume de óleo diesel comercializado representa apenas 3,6% (2,46 milhões de litros) da demanda total de biodiesel pelo mercado paranaense (67,8 milhões de litros) (ECOPAR, 2012).”

Tendo em vista os dados obtidos das fontes citadas acima, bem como a observação do BEP, que não contempla a penetração do Biodiesel no balanço, e não faz a distinção deste na composição do Diesel total produzido e ou consumido no estado, pode-se afirmar que não existe tendência que possibilite a projeção ou mesmo consideração deste item na matriz de longo prazo do estado, pelo menos neste momento, e de acordo com os dados e fatos observados na pesquisa.

Com relação à oferta de energia advinda da bioenergia, segundo dados do BEP e as relações item 4.5.3, a origem pela fonte de ordem primária é apresentada no gráfico da figura 20:

### **Energia Primária:**

→ Combustíveis Tradicionais – Produtos de Cana

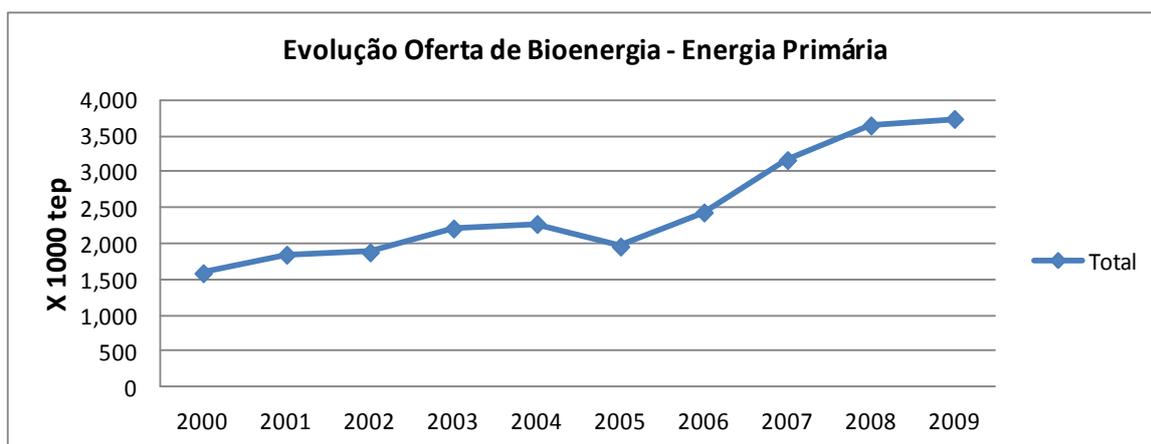


FIGURA 20 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE BIOENERGIA

### C) Aspectos considerados para a oferta de eletricidade

Para produção da energia ofertada por meio da eletricidade são disponíveis no estado do Paraná fontes de diversas tecnologias, e que atendem aos valores apresentados nas etapas primária e secundária de produção. Abaixo pode ser visto a capacidade instalada de geração por tipo de fonte de energia elétrica, conforme (ANEEL,2012):

#### - Todos os Geradores

TABELA 13 –USINAS EM OPERAÇÃO NO PARANÁ

Usinas em Operação			
Tipo	Quantidade	Potência (MW)	%
CGH	32	20,23	0,11%
EOL	2	2,50	0,01%
PCH	31	210,70	1,19%
UHE	20	16.415,82	92,42%
UTE	63	1.112,37	6,26%
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>17.761,62</b>	<b>100,00%</b>

FONTE:ANEEL (2012)

TABELA 14 –USINAS EM CONSTRUÇÃO NO PARANÁ

<b>Usinas em Construção</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (MW)</b>	<b>%</b>
PCH	2	28,00	7,00%
UHE	1	361,00	90,20%
UTE	1	11,20	2,80%
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>400,20</b>	<b>100,00%</b>

FONTE:ANEEL (2012)

TABELA 15 –TERMELETRICAS DE COGERAÇÃO NO PARANÁ

<b>Termelétricas com Co-Geração</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>%</b>
Outorga	7	45.341	1,93
Construção	2	13.158	0,56
Operação	70	2.295.861	97,52
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>2.354.360</b>	<b>100</b>

FONTE:ANEEL (2012)

## - Geradores Termoelétricos

De acordo com ANEEL(2012), são consideradas UTE para fornecimento de eletricidade todas as usinas da lista abaixo apresentada:

TABELA 16 – TERMELETRICAS EM OPERAÇÃO NO PARANÁ

TERMELETRICA	Potência (kW)	MUNICÍPIOS	COMBUSTÍVEL
Aeroporto de Londrina	876	Londrina - PR	Óleo Diesel
Aeroporto Internacional Afonso Pena	984	São José dos Pinhais - PR	Óleo Diesel
Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu - Cataratas	400	Foz do Iguaçu - PR	Óleo Diesel
Araucária	484.150	Araucária - PR	Gás Natural
Cocamar Maringá	13.000	Maringá - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Cofercatu	4.000	Florestópolis - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Coocarol	4.000	Rondon - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Cooperval	3.600	Jandaia do Sul - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Copacol	240	Alto Paraná - PR	Óleo Diesel
Destilaria de Álcool - Ibaiti	3.600	Ibaiti - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Destilaria Melhoramentos	6.400	Jussara - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Difrane Artefatos de papel	480	Apucarana-PR	Óleo Diesel
Dois Vizinhos	1.980	Dois Vizinhos - PR	Resíduos de Madeira
Ecoluz	12.330	Guarapuava - PR	Resíduos de Madeira
Energy Green	5.000	Carambei-PR	Resíduos de Madeira
EnergyWorks Corn Products Balsa	9.199	Balsa Nova - PR	Gás Natural
ETE Ouro Verde	20	Foz do Iguaçu - PR	Biogás
Figueira	20.000	Figueira - PR	Carvão Mineral
Granja Colombari	32	São Miguel do Iguaçu-PR	Biogás
Gurgacz	728	Cascavel-PR	Óleo Diesel
Heringer	6.000	Paranaguá - PR	Gás de Processo
Iguatemi ( Ex.Santa Terezinha - Iguatemi)	3.400	Maringá - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Imcopa	7.000	Araucária - PR	Gás Natural
Jacarezinho	4.600	Jacarezinho - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Klabin	113.250	Telêmaco Borba - PR	Licor Negro
Lavinorte	728	Cianorte-PR	Óleo Diesel
Miguel Forte	16.000	União da Vitória - PR	Resíduos de Madeira
Perobálcool	2.400	Perobal - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Pirai	9.000	Pirai do Sul - PR	Resíduos de Madeira
Pizzatto	2.000	General Carneiro - PR	Resíduos de Madeira
Processamento de Fumo	900	Rio Negro - PR	Óleo Diesel
Romani	480	Paranaguá - PR	Óleo Diesel
Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR)	32.000	Araucária - PR	Gás de Refinaria
Santa Maria	6.400	Guarapuava - PR	Resíduos de Madeira
Santa Terezinha	50.500	Tapejara - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Santa Terezinha - Paranacity	52.500	Paranacity - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Santa Terezinha (Ivaté)	9.000	Ivaté - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
São Tomé	4.000	São Tomé - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Supermercado Menegatti	62	Cascavel-PR	Óleo Diesel
Tamarana	456	Tamarana-PR	Óleo Diesel
Termocana	8.200	São Carlos do Ivaí - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Toledo	3.000	Toledo - PR	Resíduos de Madeira
U.E. Cascavel	648	Cascavel-PR	Óleo Diesel
UJU	30.000	Colorado - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Unidade Industrial de Aves	160	Matelândia-PR	Biogás
Unidade Industrial de Vegetais	40	Itaipulândia-PR	Biogás
Unidade Santo Inácio - USI	70.000	Santo Inácio - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Usaciga	48.600	Cidade Gaúcha - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Usaçúcar - Terra Rica	16.500	Terra Rica - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Vale do Ivaí	18.400	São Pedro do Ivaí - PR	Bagaçõ de Cana de Açúcar
Vier Indústria e Comércio do Mate	168	São Mateus do Sul-PR	Óleo Diesel
Winimport	11.500	Imbituva - PR	Resíduos de Madeira

FONTE:ANEEL (2012)

## - Geradores Eólicos

A Copel, em parceria com o LACTEC e outras instituições do estado, apresentou em 2007 um estudo denominado “Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná”, dividindo as análises de potencial de aplicação desta fonte em regiões distintas do estado, tais sejam a Leste, Oeste, Norte, Centro-Oeste e Noroeste COPEL(2007).

Neste estudo consta uma avaliação aprofundada dos regimes de vento, das questões de temperatura e rugosidade do solo, em cada uma das regiões apontadas, no intuito de promover uma compreensão da sazonalidade de ventos de acordo com as variáveis citadas, bem como em cada região.

O potencial eólico do estado foi então definido a partir das considerações citadas, utilizando modelos de reconhecimento a nível mundial, e além disso tendo por base o estado da arte do desempenho das diversas tecnologias disponíveis confrontáveis com as características levantadas nas regiões.

No estudo foram apontadas então três alturas para instalação de torres eólicas que podem fazer ótimos aproveitamentos das velocidades de vento verificadas, sendo elas 50m, 75m e 100m.

A tabela 17 abaixo apresenta os resultados do potencial para aplicação destas fontes no estado do Paraná, de acordo com os resultados obtidos em LACTEC(2007).

TABELA 17 – POTENCIAL EÓLICO NO PARANA

INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADE						INTEGRAÇÃO CUMULATIVA			
ALTURA [m]	VENTO [m/s]	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [MW]	FATOR DE CAPACIDADE	ENERGIA ANUAL [GWh]	VENTO [m/s]	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [MW]	ENERGIA ANUAL [GWh]
<b>50</b>	<b>6.0 - 6.5</b>	3181	6362	0,228	12683	<b>&gt; 6.0</b>	4033	8066	16792
	<b>6.5 - 7.0</b>	696	1392	0,268	3262	<b>&gt; 6.5</b>	852	1704	4110
	<b>7.0 - 7.5</b>	139	278	0,305	743	<b>&gt; 7.0</b>	<b>156</b>	<b>312</b>	<b>847</b>
	<b>7.5 - 8.0</b>	12	25	0,338	73	<b>&gt; 7.5</b>	17	34	105
	<b>8.0 - 8.5</b>	3	7	0,368	22	<b>&gt; 8.0</b>	5	9	32
	<b>&gt; 8.5</b>	1	3	0,425	10	<b>&gt; 8.5</b>	1	3	10
	<b>6.0 - 6.5</b>	12152	24304	0,231	49254	<b>&gt; 6.0</b>	15310	30619	64726
<b>6.5 - 7.0</b>	2476	4952	0,270	11716	<b>&gt; 6.5</b>	3158	6315	15471	
<b>7.0 - 7.5</b>	574	1148	0,308	3102	<b>&gt; 7.0</b>	<b>681</b>	<b>1363</b>	<b>3756</b>	
<b>7.5 - 8.0</b>	96	193	0,344	580	<b>&gt; 7.5</b>	107	215	654	
<b>8.0 - 8.5</b>	8	16	0,372	52	<b>&gt; 8.0</b>	11	22	74	
<b>&gt; 8.5</b>	3	6	0,414	22	<b>&gt; 8.5</b>	3	6	22	
<b>100</b>	<b>6.0 - 6.5</b>	25220	50440	0,234	103580	<b>&gt; 6.0</b>	32638	65275	140255
	<b>6.5 - 7.0</b>	5730	11460	0,272	27289	<b>&gt; 6.5</b>	7417	14835	36675
	<b>7.0 - 7.5</b>	1370	2739	0,310	7430	<b>&gt; 7.0</b>	<b>1687</b>	<b>3375</b>	<b>9386</b>
	<b>7.5 - 8.0</b>	275	550	0,347	1672	<b>&gt; 7.5</b>	318	636	1956
	<b>8.0 - 8.5</b>	37	75	0,377	246	<b>&gt; 8.0</b>	43	85	284
	<b>&gt; 8.5</b>	5	11	0,408	38	<b>&gt; 8.5</b>	5	11	38

### 3.4.2.2. Avaliação da oferta observada para projeções

Com relação à oferta de energia para eletricidade, segundo dados do BEP (2010), e as relações item 4.5.3, a eletricidade possui fontes de ordem primária e secundária, sendo que a seguir são apresentadas nas figuras 21 e 22 as distinções propostas bem como a evolução gráfica dos da oferta primária e secundária:

#### Energia Primária:

- Eletricidade – Energia Hidráulica; Eólica;
- Biomassa – Lenha, resíduo de Madeira;

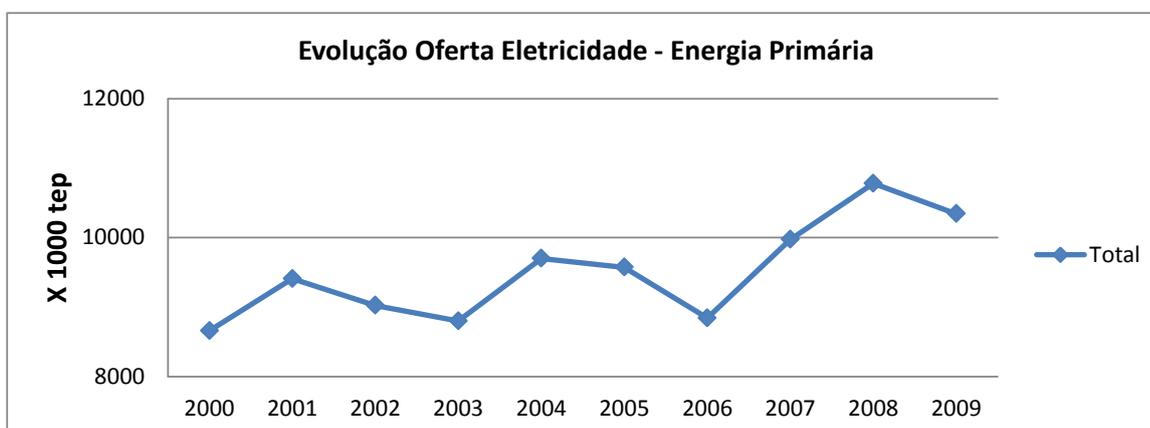


FIGURA 21 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ELETRICIDADE  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEE (2010)

#### Energia Secundária:

- Biomassa – Carvão vegetal;
- Eletricidade – Eletricidade;
- Outras Fontes – Cogeração; Solar

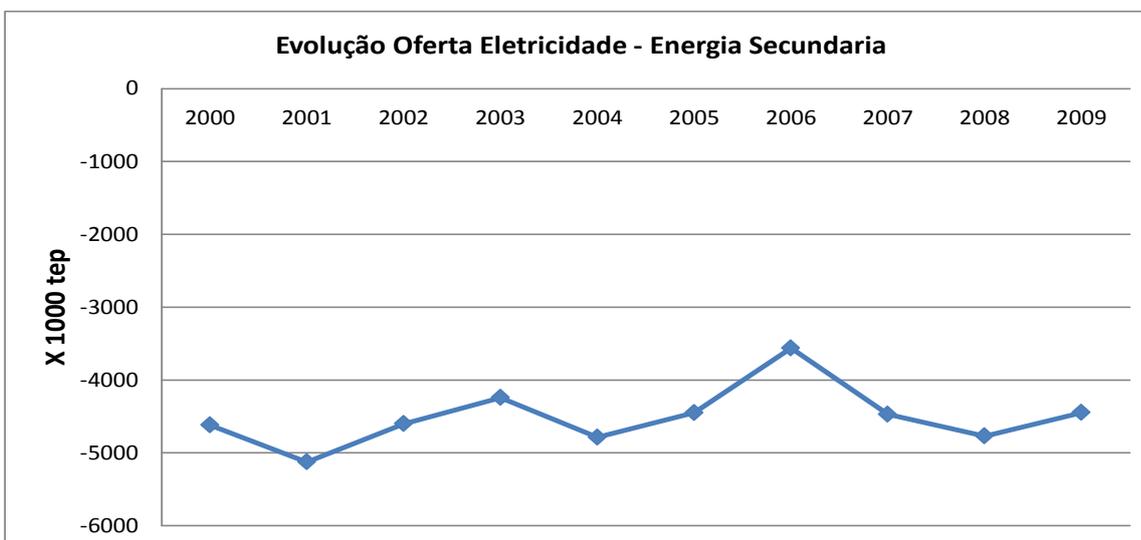


FIGURA 22 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA SECUNDARIA PARA ELETRICIDADE  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DE BEE (2010)

A figura 23 apresenta o fluxograma resumido das atividades de levantamento dos dados de oferta de energia, que levou em conta a diversidade dos dados e bases disponíveis, e foi descrita através da avaliação do ocorrido em termos de oferta, bem como das premissas de oferta para o futuro associadas às taxas de produção em curso.

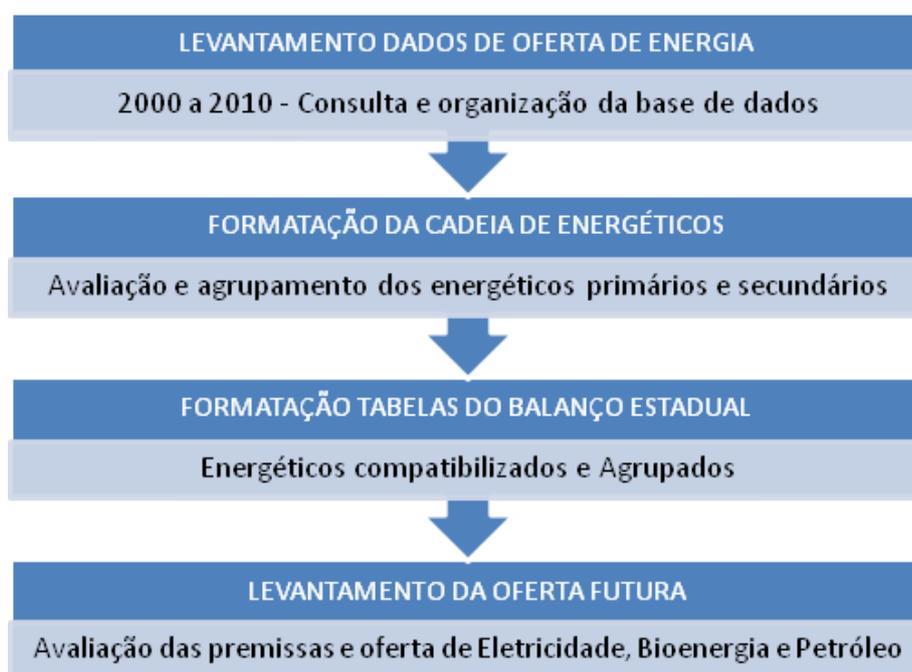


FIGURA 23 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA

FONTE: O autor

### 3.5. Validação das projeções e premissas nos modelos

Tendo em vista a validação do modelo frente aos dados já efetivamente consolidados, este item apresenta os resultados apresentados pelo BEP em cada ano desde 2000 até 2010, já definitivamente publicados, e faz a confrontação dos resultados obtidos através da aplicação do Modelo MAED de projeção para o longo prazo, por meio das formulações apresentadas e dos dados publicados.

Desta forma a avaliação apresentada visa validar a metodologia através dos resultados publicados no balanço, e dos dados obtidos nas projeções do MAED, verificando o percentual de erro relacionado às projeções feitas em face do acontecido. Desta forma será consolidado o cenário de referência, baseado

nos comportamento dos dez anos anteriores, e que será servir de ponto de partida para os cenários a serem propostos para o longo prazo.

Para os cálculos realizados pelo MAED para validação da projeção, foi adotado e elaborado como ano base o ano 2000, do qual os dados foram utilizados para projeção e obtenção dos valores de 2001 até 2010, para posteriormente serem confrontados ou comparados com os valores reais efetivamente consolidados. A Elaboração do ano base foi de suma importância e requereu grande esforço, com vistas à maior assertividade dos resultados para as projeções no longo prazo, e para a compreensão da dinâmica dos dados do estado do Paraná.

A avaliação do erro relacionado à projeção de energia no longo prazo feita pelo modelo, e ao devidamente ocorrido por meio das publicações apresentadas, determina a eficiência e assertividade das projeções. Foi utilizada como avaliação da taxa de erro a ferramenta denominada MAPE – *Mean Average Percentage Error*, que avalia o percentual de erro relacionado às projeções, baseado no erro observado dos dados efetivamente realizados.

De acordo com Wang (2009), a metodologia MAPE é feita pelo cálculo termo-a-termo, pela comparação entre os termos de uma série de dados, obtendo o erro relativo na previsão em relação ao valor atual da variável. Desta forma o MAPE apresenta-se como uma estatística imparcial muito utilizada para medir a capacidade de previsão de modelos, ao passo que determina uma medida da precisão de um valor ajustado de séries temporais nas estatísticas, e é utilizado para avaliação da predição de séries temporais.

Conforme Swanson (2010) o MAPE é mais comumente usado para avaliar previsões transversais, ou seja, aquelas que não derivam de dados primários, mas por vezes de dados já secundários e estatísticos. Além disso de acordo com Swanson (2010), a ferramenta possui propriedades estatísticas ao passo que faz uso de observações associadas às variáveis, e tem a menor variabilidade de amostra para amostra, sendo assim útil para fins de referência, uma vez que é expresso em termos percentuais genéricos, que será compreensível para um grande número de utilizadores.

De acordo com Foka (1999), a formulação para o cálculo do erro através da utilização da metodologia MAPE é descrita abaixo:

$$M = \frac{100\%}{n} * \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (65)$$

Onde:

M = Erro Médio Percentual

At = Valor Atual da medição realizada

Ft = Valor Futuro da medição realizada

n = Horizonte temporal da série de dados

t = Índice das medições executadas

### 3.5.1. Validação do modelo de demanda

Desta forma a comparação realizada se fez por meio das tabelas 18 e 19 a seguir expostas, considerando o agrupamento dos setores como já anteriormente citado, de forma que não sejam reduzidas as divergências devido a erros na consideração dos setores e seus devidos agrupamentos.

TABELA 18– RESULTADOS DEMANDA REALIZADA BALANCO 2000/2010

(X 1000) Tep	Dados do Balanço Energético										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Industrial	4.442	4.729	4.991	4.931	5.287	5.289	5.649	6.079	6.647	6.774	6.869
Transportes	3.968	4.140	4.111	4.267	4.572	4.657	4.600	4.801	5.203	5.282	5.356
Residencial	1.295	1.272	1.261	1.274	1.317	1.336	1.362	1.399	1.448	1.471	1.492
Serviços	1.993	2.173	2.233	2.419	2.536	2.554	2.789	2.999	3.177	3.266	3.312
<b>TOTAL</b>	<b>11.698</b>	<b>12.314</b>	<b>12.596</b>	<b>12.891</b>	<b>13.712</b>	<b>13.836</b>	<b>14.400</b>	<b>15.278</b>	<b>16.475</b>	<b>16.793</b>	<b>17.029</b>

FONTE: BEP (2010)

TABELA 19– RESULTADOS DEMANDA PROJETADA COM MAED 2000/2010

(X 1000) Tep	Dados do Modelo MAED										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Industrial	4.069	4.236	4.357	4.482	4.611	4.745	5.081	5.623	5.850	5.992	5.969
Transportes	4.246	4.394	4.829	5.064	5.339	5.599	4.800	5.526	5.769	5.941	6.441
Residencial	1.510	1.581	1.624	1.648	1.629	1.678	1.698	1.744	1.770	1.749	1.803
Serviços	1.973	2.039	2.107	2.177	2.251	2.329	2.349	2.608	2.678	2.662	2.916
<b>TOTAL</b>	<b>11.798</b>	<b>12.250</b>	<b>12.917</b>	<b>13.371</b>	<b>13.830</b>	<b>14.351</b>	<b>13.928</b>	<b>15.501</b>	<b>16.067</b>	<b>16.344</b>	<b>17.129</b>

FONTE: O autor (2012)

Como pôde ser observado nos dados da tabela 18 acima apresentada, os valores totais da demanda anual para cada setor tiveram comportamentos diversos em função principalmente do PIB de cada setor, que é um dos fatores que baliza o consumo energético, e também determina a dinâmica de crescimento do consumo dos outros setores.

No resultado apresentado nas tabelas acima nota-se, em determinados anos, uma inversão entre projeção e realizado por setor, sendo que no total também por vezes a projeção supera o realizado, e em outros casos o realizado é maior.

Contudo a grande variação observada nos setores independentemente, os valores de energia total mantiveram-se próximos, e isso se observa através do valor do erro obtido pela metodologia MAPE, que para o caso da demanda foi de 2,06%.

### **3.5.2. Validação do modelo de oferta**

Tendo em vista a validação do modelo frente aos dados já efetivamente consolidados, este item aborda os resultados apresentados pelo BEP desde 2000 até 2010, já definitivamente publicados, e faz a confrontação dos resultados obtidos através da aplicação do Modelo MESSAGE de projeção de oferta para o longo prazo.

Faz-se necessária uma avaliação da performance destas projeções da oferta realizadas, tendo em vista que a oferta de energia é feita com base nos resultados da demanda fornecida pelo MAED, e também de acordo com as variáveis de preços de energia referenciadas ao barril de petróleo, bem como à penetração observada de cada energético, além das tendências apontadas nos planos nacional e estaduais avaliados.

Neste aspecto este item visa validar a metodologia através da avaliação dos resultados obtidos para as ofertas de energéticos, e dos dados obtidos nas projeções do MESSAGE, avaliando o percentual de erro relacionado à projeções feitas em face do acontecido. Desta forma será consolidado o cenário de referência, baseado no comportamento dos dez anos anteriores, e que será servir de ponto de partida para os cenários de oferta propostos para atendimento da demanda apontada no longo prazo.

De forma similar ao modelo de demanda, a projeção da oferta foi pautada e elaborada tendo como base de referência o ano de 2000, do qual foram utilizados os dados para projeção e obtenção dos valores de 2000 até 2010, e confrontados com os já efetivamente consolidados neste período.

Cabe salientar novamente a importância crucial da avaliação e formação do ano base, que requer grande esforço e conhecimento técnico de planejamento integrado de recursos energéticos, além da necessidade fundamental de entrevistas com especialistas dos setores relacionados ao tema no estado do Paraná, com vistas à maior assertividade na elaboração dos cenários de longo prazo.

A avaliação do erro relacionado à projeção de oferta de energia no longo prazo, e ao devidamente ocorrido por meio das publicações apresentadas, determina a eficiência e assertividade das projeções. Para tal foi utilizada como avaliação da taxa de erro a ferramenta MAPE, similar à utilizada para validação do modelo MAED, conforme apresentada neste item 3.8.

Desta forma a comparação realizada se fez por meio das tabelas a seguir expostas, considerando o agrupamento dos energéticos da oferta, como já anteriormente, de forma que sejam reduzidas as divergências devido a erros na consideração da oferta advinda de cada tipo de fonte primária e secundária de energia.

TABELA 20 – RESULTADOS OFERTA REALIZADA OU REAL - BALANÇO 2000/2010

(X 1000) Tep	Dados do Balanço Energético										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Combustível Fóssil	8,256	7,901	7,804	7,884	7,560	8,029	8,409	8,532	8,758	8,913	9,034
Biomassa	1,927	2,073	2,249	2,329	2,560	2,662	2,776	2,881	3,201	3,222	3,310
Eletricidade	1,717	1,771	1,728	1,759	1,871	1,982	2,037	2,141	2,267	2,120	2,156
Combustíveis Tracicionais	-111	611	570	814	1,479	1,032	1,221	1,844	2,469	2,695	2,547
Outras Fontes	630	697	720	706	720	739	716	730	873	907	978
<b>TOTAL</b>	<b>12,419</b>	<b>13,053</b>	<b>13,071</b>	<b>13,492</b>	<b>14,190</b>	<b>14,444</b>	<b>15,159</b>	<b>16,128</b>	<b>17,568</b>	<b>17,857</b>	<b>18,025</b>

FONTE: BEP (2010)

TABELA 21 – RESULTADOS OFERTA PROJETADA MESSAGE 2000/2010

(X 1000) Tep	Dados do Modelo MESSAGE										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Combustível Fóssil	8,550	8,779	9,313	9,648	10,034	10,468	9,916	11,105	11,498	11,722	12,443
Biomassa	1,009	1,068	1,119	1,173	1,232	1,309	1,229	1,373	1,432	1,459	1,603
Eletricidade	1,266	1,357	1,445	1,535	1,564	1,605	1,568	1,781	1,904	1,945	1,930
Combustíveis Tracicionais	0,693	1,036	1,026	0,992	0,966	0,918	1,185	1,226	1,203	1,180	1,095
Outras Fontes	0,001	0,011	0,012	0,023	0,033	0,05	0,013	0,015	0,028	0,038	0,056
<b>TOTAL</b>	<b>10,825</b>	<b>12,240</b>	<b>12,903</b>	<b>12,356</b>	<b>12,830</b>	<b>13,382</b>	<b>13,898</b>	<b>15,485</b>	<b>16,037</b>	<b>16,306</b>	<b>17,071</b>

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

Como pôde ser observado nos dados das tabelas 20 e 21 acima apresentadas, os valores totais da oferta de energia no período ocorrido, para cada o de agrupamento dos energéticos do balanço, demonstram que existe uma diversificação na utilização das fontes ao longo do tempo à medida que a demanda por energia varia.

Os comportamentos da oferta de energia se apresentam mais variados do que a demanda, haja vista o próprio comportamento das commodities relacionadas à produção de energia, bem como às características de produção de cada fonte que são ligadas a aspectos técnicos, regulatórios, ambientais, entre outros.

No resultado obtido pela aplicação da metodologia MAPE, a partir dos dados avaliados, se obteve um erro global de 7,34%, que representa a grande variabilidade dos dados, bem como devido o fato de tratarem-se em maioria de dados secundários e composições ou premissas a partir de balanços estatísticos.

A figura 24 apresenta o fluxograma resumido das atividades de validação dos modelos de demanda e oferta, feita utilizando as ferramentas citadas neste item 3.8, e tendo por base os dados da oferta e demanda já ocorridos entre 2001 e 2010, em função dos parâmetros sociais, econômicos e tecnológicos já descritos anteriormente.



FIGURA 24 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA ETAPA  
FONTE: O autor

### 3.6. Cenários de projeção de longo prazo

Como já visto anteriormente, a modelagem MAED é baseada em um modelo de simulação desenvolvido para construir cenários de demanda de energia no médio e longo prazo, para uma região designada ou mesmo um país. O modelo segue a avaliação de que um cenário futuro de demanda de energia é acima de tudo uma premissa consistente, elaborado por especialistas de cada setor da economia, e que está fortemente ligada às direções governamentais de programas econômicos, que convergem para cenários de crescimento econômico associados às premissas de avanço sociais e tecnológicas dos setores avaliados.

Os cálculos da demanda de energia são apresentados por setor econômico, em função da taxa de uso de cada energético no setor, e das características de intensidade energética dos setores econômicos apresentados nas tabelas no decorrer deste estudo.

O setor Industrial, o de Transportes, de Serviços e Residencial são apresentados como os principais consumidores de energia do estado, sendo que o comportamento econômico destes propicia a base para avaliação do efeito das mudanças na dinâmica destes setores, e conseqüentemente o efeito na demanda de energia pela população.

Finalmente a evolução do PIB de cada setor, bem como o PIB global, é o principal fator que delinea as tendências de consumo energético, e são estes os indicadores a ser avaliados com relação aos cenários futuros, além dos tecnológicos, também necessários para formulação dos cenários de futuro consistentes.

Para avaliação das tendências de longo prazo serão apresentados cenários denominados de referência e alternativo, visando desagregar a evolução socioeconômica do estado e interpretar a evolução da demanda de energia em função dos cenários propostos.

Para a desagregação e maior compreensão em termos de desempenho macroeconômico entre os cenários de referência e alternativo, foi elaborada e apresentada a segmentação abaixo, considerando algumas possíveis situações com relação ao crescimento do país em termos demográficos e financeiros.

Foram então consideradas para cada uma dos dois cenários, outras duas possíveis situações socioeconômicas e de desenvolvimento tecnológico, compondo assim os cenários de estudo listados seguir:

- i) **Cenário de referência A**
- ii) **Cenário de referência B**
- iii) **Cenário alternativo A**
- iv) **Cenário alternativo B**

A seguir é feita a descrição dos cenários econômicos principais que serão utilizados nesta dissertação para caracterização das duas situações das tendências adotadas para o estado do Paraná.

a) *Cenário A*

O primeiro cenário, caracterizado como otimista, denomina-se **cenário A**, no qual o crescimento da economia brasileira supera o crescimento da economia mundial, devido a uma gestão mais ativa e uma solução mais eficiente dos problemas internos.

Neste cenário questões relacionadas à maturidade e estabilidade macroeconômica, condicionada às questões microeconômicas, impedem que, por exemplo, gargalos de infra estrutura sejam plenamente sanados. No entanto esforços em busca de mercado externo abrem oportunidades de crescimento para a economia em geral, sendo os efeitos disso sentidos como auxiliares na manutenção do crescimento projetado de 4,1% a.a.

“A produtividade total dos fatores não alcança os mesmos elevados níveis do cenário anterior, pois fica mais concentrada em nichos específicos; as restrições de capital para P&D&I levam à alternativa de internalização, limitando o desenvolvimento tecnológico; e, por fim, um mercado de crédito limitado e de difícil acesso não permite o financiamento da contínua modernização do parque produtivo. Em um cenário de processo de consolidação institucional, a aplicação da regulação ambiental não ocorre sem que haja algum tipo de conflito entre crescimento e aproveitamento dos recursos naturais. Por fim, a desigualdade sócio-regional avança modestamente, com

redistribuição parcial de renda; lenta desconcentração regional do crescimento e uma pequena melhoria no quadro de instabilidade social nos grandes centros urbanos. (PNE2030).”

#### *b)– Cenário B*

No que se pode chamar de cenário pessimista o **cenário B**, o crescimento nacional se assemelharia no máximo ao da média mundial, ficando por vezes abaixo disso. Dentre os aspectos que o tornariam de baixa expressão econômica, estão a ineficiência no uso das vantagens competitivas, e das oportunidades de crescimento num cenário mundial em crise. Este cenário caracteriza uma reversão da estabilidade macroeconômica adquirida, bem como paralisação de reformas microeconômicas, o que acarretaria em más condições de infra-estrutura e falta de transparência em questões importantes como políticas de meio ambiente por exemplo, e gargalos que impediriam o crescimento sustentado da economia, ficando com taxas da ordem de 2,2% a.a.

“A falta de investimento na economia mantém o quadro de baixa competitividade dos fatores de produção, com baixa qualificação da mão-de-obra, um ambiente desfavorável para P&D&I (o que inviabiliza o desenvolvimento tecnológico e o progresso técnico) e crédito de longo prazo escasso e caro (impedindo qualquer processo de modernização do parque produtivo nacional). Por fim, a desigualdade sócio-regional denota a esgarçada de um processo que se arrasta desde o século passado com má distribuição de renda e a concentração regional do crescimento. Não por outro motivo, a intensificação da violência torna permanente a sensação de insegurança nos grandes centros urbanos, apenas um exemplo dentre os muitos indicadores da exacerbação dos conflitos sociais (PNE2030).”

#### **3.6.1. Formação do cenário de referência**

O cenário de referência é baseado no comportamento dinâmico da economia do estado, e centrado na evolução em curso ao longo dos últimos anos, fazendo a projeção conforme as formulações apresentadas

anteriormente, adaptadas ao agrupamento dos setores proposto, e da validação apresentada no item 3.8, guardando as características estáticas de evolução do crescimento econômico observado neste período de análise.

Não são consideradas neste cenário as mudanças qualitativas nas formas de consumo de energia, tampouco na penetração das fontes por setor, guardando as características observadas e projetando os cenários em função destas premissas conservadoras e do desempenho já em consolidação à partir dos anos anteriores.

De acordo com IBGE (2008) a projeção da população do Brasil é feita utilizando o chamado Método das Componentes, o qual incorpora as informações sobre as tendências observadas da mortalidade, da fecundidade e da migração em nível nacional. A base de avaliação do IBGE é feita num intervalo de 70 anos, ou seja, de 1980 a 2050.

“Neste método, interagem as variáveis demográficas seguindo as cortes de pessoas ao longo do tempo, expostas às leis de fecundidade, mortalidade e migração. Para tanto, é necessário que se produzam estimativas e projeções dos níveis e padrões de cada uma destas componentes IBGE (2008).”

No PNE 2030 são apresentadas as projeções da população total residente, por situação, para o período 2005 - 2030, segmentadas em nas regiões geográficas do país. Não existe no documento a previsão por estado, sendo que o estado do Paraná não apresenta projeção da população segundo os critérios de cálculo preconizados pelo IBGE e adotados pela EPE na elaboração do PNE.

Da mesma forma que o PNE fez em suas considerações e premissas de projeções demográficas, assim como os demais casos avaliados em outros países, para o cenário de referência desenvolvido e apresentado nesta dissertação foi considerada a taxa de crescimento da população fixa, verificada em relação ao período de 2000 a 2010, apresentada em IPARDES (2011), com o valor médio de 1,36% a.a.

### **3.6.2. Formação do cenário alternativo**

A formação de cenários alternativos requer um grande esforço e trabalho conjunto com todos os órgãos e instituições que deliberam a cerca dos rumos da economia do estado, levando em conta os aspectos sociais e as possíveis alterações de ordem qualitativa e tecnológica nos setores econômicos chave, bem como outros fatores ou acontecimentos que influenciariam no comportamento da demanda de energia do estado no longo prazo.

Inúmeros cenários podem ser traçados a partir de estudos específicos de cada setor, onde aspectos de inovação, melhoria dos índices de produção, melhor acesso às tecnologias inovadoras, entre outros, devem ser cuidadosamente inseridos nas dinâmicas de formação dos cenários, de acordo com as limitações do modelo e com a convergência econômica ideal.

Tendo em vista o esforço quem vem sendo feito no estado do Paraná com relação às questões de desenvolvimento sustentável e políticas energéticas que coloquem o estado na vanguarda em planejamento energético de longo prazo, um cenário a ser apresentado diz respeito à penetração das fontes renováveis na matriz energética no longo prazo, considerando principalmente a eficiência energética como vetor de planejamento na medida em que proporciona redução do consumo no longo prazo e contribui assim com o planejamento energético.

Neste cenário será feita a avaliação da melhora dos índices de consumo por meio da eficiência energética, de acordo com as proposições para o longo prazo consideradas no PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética, que apresenta metas de redução e que estão mostradas na Figura 24.

Também atividades de melhor intensidade energética no uso final de energia, tanto por parte da sociedade quanto por parte da indústria serão consideradas neste cenário, à medida que sejam disponíveis nos balanços energéticos e já venham incorporando os dados levantados e utilizados nas projeções.

Neste aspecto tem-se, por exemplo, os programas de eficiência energética aplicados aos setores de eletricidade, petróleo e gás, que consideram projeções advindas de melhorias nos processos produtivos nestes

setores, que impactam diretamente nas projeções de longo prazo, sendo apresentadas também no PNE 2030 com as respectivas metas.

Tomando como base os dados apresentados no Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEF, bem como no PNE 2030, que apresenta os cenários de longo prazo para as questões energéticas, abaixo são expostas projeções e gráficos que transcrevem a tendência de longo prazo com relação à conservação de energia advinda das premissas de eficiência energética.

O quadro apresentado a seguir transcreve o total de reduções de consumo energético acumulados ano a ano, sendo o período de análise total desde 2009 até 2030, ano no qual projeta-se uma redução de aproximadamente 102.449 GWh, que percentualmente corresponde à 10% do Consumo Base (1.025.639 GWh).

Anos	Consumo Base GWh	Consumo Final GWh	Econ Total Anual GWh	Econ do Ano GWh
2009	388.204	388.204	-	-
2010	418.096	415.961	(2.135)	(2.135)
2011	441.091	436.657	(4.434)	(2.298)
2012	465.351	458.387	(6.964)	(2.530)
2013	490.945	481.198	(9.747)	(2.783)
2014	517.947	505.146	(12.802)	(3.055)
2015	541.255	525.239	(16.016)	(3.214)
2016	565.611	546.128	(19.483)	(3.467)
2017	591.064	567.849	(23.215)	(3.732)
2018	617.662	590.435	(27.227)	(4.012)
2019	645.457	613.920	(31.537)	(4.310)
2020	673.211	637.114	(36.097)	(4.560)
2021	702.159	661.184	(40.976)	(4.879)
2022	732.352	686.163	(46.189)	(5.213)
2023	763.843	712.087	(51.756)	(5.567)
2024	796.688	738.992	(57.697)	(5.941)
2025	830.946	766.914	(64.032)	(6.335)
2026	866.677	795.893	(70.784)	(6.752)
2027	903.944	825.967	(77.977)	(7.193)
2028	942.813	857.179	(85.634)	(7.657)
2029	983.354	889.572	(93.783)	(8.148)
2030	1.025.639	923.190	(102.449)	(8.666)

FIGURA 25 – METAS DE REDUCAO EM EFICIÊNCIA ENERGETICA LONGO PRAZO  
FONTE: PNEF, 2012

Estes valores coadunam com os percentuais apresentados no PNEF (2012), que cita a redução de 10% como meta da soma dos programas de eficiência energética em vigor no país, tanto os que promovem a redução de forma induzida como os que promovem a redução de forma estimulada, na teoria 5% para cada tipo.

De acordo com o PNEF (2012), a Economia Total Anual destacada no gráfico representa a Energia economizada por meio das medidas postas em prática no próprio ano, somadas à redução de consumo proveniente dos anos anteriores por meio das mesmas medidas. Já a denominação de Economia do Ano, traduz a economia de energia realizada no ano em análise e transcreve apenas as medidas adotadas neste ano.

Pode-se notar que em um curto espaço de tempo as ações de eficiência energética já podem ser notadas como promotoras de redução no consumo, e no longo prazo isso se acentua de forma a atingir as metas que propõem o programa. De acordo com dados do BEN, além das considerações tecnológicas e de desenvolvimento para cada setor, é possível traçar cenários de longo prazo para cada um dos principais setores da economia, que são os maiores consumidores de energia e que representam, portanto os focos das ações de eficiência energética de forma ampla.

A partir das metas apresentadas na tabela da figura 18, foi considerada a penetração das taxas de redução do consumo projetadas para cada setor, devidas aos setores da economia do estado, por meio das considerações anteriores feitas nas tabelas 05, 07, 09 e 11 anteriormente descritas, visando internalizar as metas descritas no plano nacional para o plano estadual, guardando as considerações propostas neste estudo com relação ao agrupamento dos setores.

Além das considerações relacionadas à eficiência energética, foram também inseridas neste cenário as questões de premissas demográficas de longo prazo, que correspondem a um importante componente na formação de cenários alternativos.

A taxa de crescimento populacional adotada para o cenário alternativo do estudo foi aquela considerada no PNE como a da região Sul, conforme a tabela 22 retirada de IBGE (2008), tendo em vista que os modelos da EPE estão validados com o IBGE, e representam a base de dados sólida no que diz respeito à projeção de longo prazo de energia.

TABELA 22 – TAXA DE CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO PROJETADA EM LONGO PRAZO

(% a.a.)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Região Sul	1,32	1,17	1,02	0,89	0,78	0,68	0,62	0,57
Brasil	1,46	1,32	1,14	0,98	0,87	0,75	0,69	0,62

FONTE: ELABORADO A PARTIR DE IBGE (2008) e PNE (2030)

O objetivo deste cenário alternativo apresentado é de demonstrar a influência das medidas de eficiência energética propostas pelo PNEf, ao mesmo tempo que leva em conta a redução da população para os próximos anos, apontada de acordo com projeções do IBGE, e que são orientativas na elaboração deste cenário demográfico, ao passo que sofrem alterações à medida da publicação dos Censos Populacionais.

Desta maneira o cenário alternativo fez a relação com a penetração desta fatia de redução no consumo advinda da eficiência energética e novas energias renováveis, através da equivalência com as relações citadas anteriormente, além de considerar as questões de projeção da redução populacional estimada para o longo prazo apresentadas na tabela 22 anterior.

### **3.7. Considerações finais do capítulo**

Esse capítulo apresentou as principais estratégias relacionadas aos materiais e método proposto e aplicados nesta dissertação, visando esclarecer de que forma os trabalhos foram realizados para alcance dos objetivos colocados.

Apresentou-se uma orientação da metodologia proposta para aplicação no âmbito estadual, derivada daquela preconizada no âmbito nacional e internacional com relação ao planejamento energético de longo prazo, bem como se demonstrou as etapas necessárias ao desenvolvimento e aplicação da metodologia estadual.

As etapas foram descritas a partir do levantamento, composição e formatação dos dados necessários às projeções, bem como da elucidação da modelagem do ano base e dos cenários futuros propostos e desenvolvidos.

Foram também apresentados os setores e instituições relacionadas ao tema, e que publicam dados econômicos, energéticos, demográficos e socioeconômicos que são fundamentais à aplicação dos modelos e obtenção das projeções, além das principais características dos modelos a serem aplicados. Foram ainda listados os principais dados necessários aos cálculos de projeções e para a elaboração dos cenários, bem como os agrupamentos e características dos setores econômicos considerados nos modelos aplicados.

A validação dos dados do ano base, ocorrido e projetado, foi uma importante etapa apresentada neste capítulo, visando garantir que a calibragem dos modelos segue uma tendência de erro estatístico, neste caso verificado para os dados de oferta e demanda, e que permitem determinar as possibilidades de erro relacionado às projeções de futuro, baseado nos dados do passado, à partir do ano base.

Por fim foram apresentados e descritos em detalhe os cenários para projeções de futuro, conforme definido anteriormente no decorrer dos levantamentos teóricos e também neste mesmo capítulo três. Estes cenários de projeção bem com suas premissas são definidas de acordo com a orientação de manter o equilíbrio econômico entre os cenários, e possibilitar a análise comparativa entre os mesmo, e para tanto foram determinados os cenários de referência a alternativo, sendo que para ambos houve ainda a consideração da situação otimista e pessimista.

## 4. PROJEÇÕES DE DEMANDA E OFERTA NO LONGO PRAZO

Este item apresenta as projeções de demanda e oferta de energia, resultantes da aplicação das formulações e considerações feitas no método proposto, aplicada ao estado do Paraná. São consideradas as premissas adotadas em consonância com as características dos dados disponíveis e formatados, tal como é descrito em detalhe no capítulo 3.

### 4.1. Projeções de demanda - cenário de referência

Na avaliação do cenário de referência, como pode ser visto a seguir nas tabelas 23 e 24, foram feitas as considerações citadas anteriormente com relação aos aspectos de desenvolvimento econômico e social de referência. Neste aspecto a avaliação do comportamento dos anos anteriores é o que define o comportamento futuro, tanto que se denomina cenário de referência justamente por tratar-se da referência ao que já está ocorrendo, considerando algumas questões de variações próprias dos indicadores fundamentais.

A avaliação do balanço energético é a principal fonte de referência neste cenário, uma vez que se trata da base de dados já consolidada de que se dispõem, e da qual podem ser inferidas projeções e avaliações conjunturais.

TABELA 23– PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA

Demanda Final de Energia por Setor								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	6,008	7,100	8,288	9,677	11,298	13,192	15,451
Transportes	[Mtep]	5,365	6,059	7,370	8,479	9,813	11,330	12,669
Residencial	[Mtep]	2,171	2,458	2,700	2,904	3,193	3,539	3,920
serviços	[Mtep]	3,203	3,751	4,391	5,142	6,022	7,054	8,253
Total	[Mtep]	16,748	19,368	22,749	26,201	30,326	35,115	40,294

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Tomando por base o crescimento econômico e social apresentados no cenário referência, e as características de infraestrutura energética se mantendo no mesmo ritmo de crescimento percebido ao longo dos últimos dez anos, nota-se que neste cenário ocorrem mudanças de consumo principalmente no setor de Transportes e no setor de Serviços, onde ocorrem reduções nas curvas de consumo no longo prazo, como pode ser percebido na Figura 26.

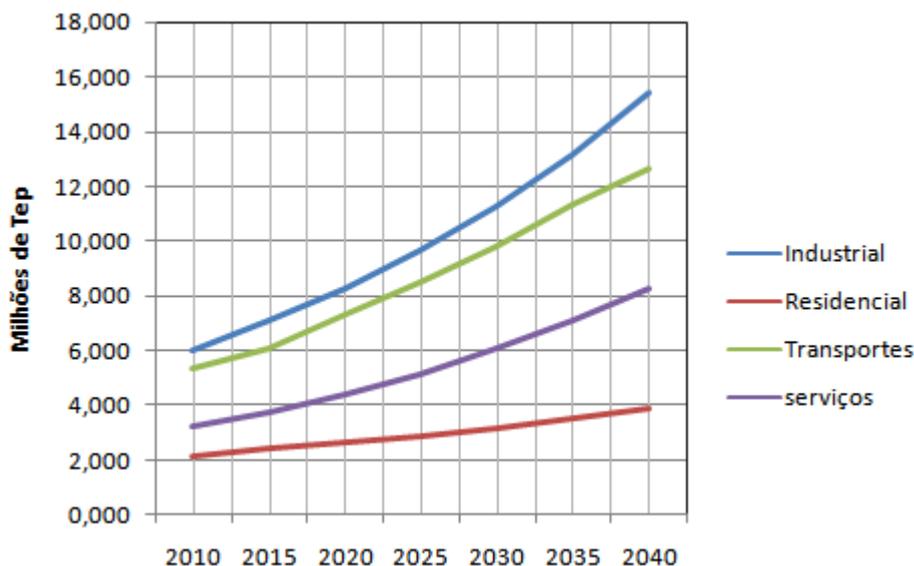


FIGURA 26 – DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Foram também formulados os indicadores kWh per PIB e o MWh per capita, como segue abaixo na Tabela 24, que demonstram a evolução dos aspectos de cenarização com relação ao impacto de indicadores de consumo dos setores econômicos e também dos aspectos de crescimento da sociedade.

TABELA 24 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO REFERÊNCIA

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Otimista								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18.973	20.367	22.206	23.742	25.508	27.417	29.204
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1.528	1.509	1.514	1.490	1.473	1.457	1.429

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

#### 4.1.1. Projeções de demanda - cenário de referência A

Para o cenário de referência otimista, como pode ser visto a seguir nas tabelas 25 e 26, foram feitas as considerações citadas anteriormente com relação aos aspectos de desenvolvimento econômico e social satisfatório, tendo em conta que os indicadores de crescimento econômico e social apresentados serão mantidos, e as características de infraestrutura energética se mantiveram no mesmo ritmo de crescimento, percebido ao longo dos últimos dez anos.

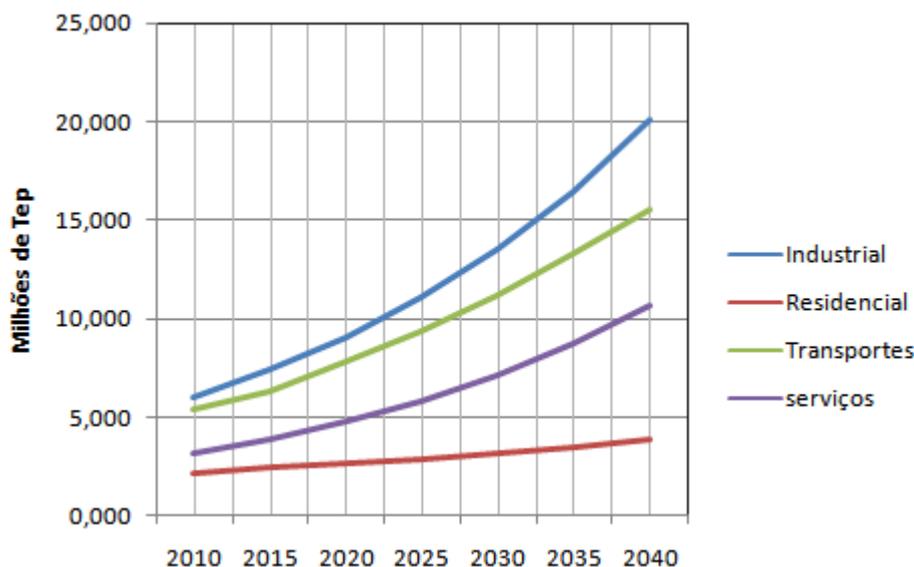


FIGURA 27– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO OTIMISTA  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

TABELA 25– PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO A

Demanda Final de Energia por Setor - Otimista								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	6,008	7,417	9,045	11,030	13,451	16,403	20,065
Transportes	[Mtep]	5,365	6,235	7,830	9,306	11,133	13,305	15,508
Residencial	[Mtep]	2,171	2,458	2,700	2,904	3,193	3,539	3,920
serviços	[Mtep]	3,203	3,916	4,787	5,852	7,156	8,750	10,689
<b>Total</b>	[Mtep]	<b>16,748</b>	<b>20,026</b>	<b>24,362</b>	<b>29,092</b>	<b>34,932</b>	<b>41,997</b>	<b>50,182</b>

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Neste cenário nota-se que os setores industrial, transportes e serviços mantêm um ritmo de crescimento acelerado, ao passo que o setor residencial mantém estabilidade no consumo de longo prazo.

Com relação aos indicadores que medem a intensidade energética geral e o consumo médio por habitante, tais sejam respectivamente o kWh per PIB e o MWh per capita, abaixo segue a tabela e o gráfico do comportamento de ambos ao longo do tempo, para o cenário de referência otimista.

TABELA 26 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO A

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Otimista								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18.973	21.059	23.781	26.361	29.382	32.791	36.370
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1.528	1.494	1.487	1.452	1.427	1.403	1.371

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Estes indicadores apresentam uma visão completa com relação ao crescimento econômico e o consumo energético, tanto por unidade monetária

quanto por pessoa. Através destes indicadores é possível avaliar o comportamento global entre os cenários referência e alternativo, frente às premissas adotadas.

#### 4.1.2. Projeções de demanda - cenário de referência B

O cenário de referência pessimista apresenta a situação de menor crescimento econômico, como pode ser visto a seguir nas tabelas 27 e 28 e no gráfico da Figura 28.

De acordo com as considerações citadas anteriormente com relação aos aspectos de desenvolvimento, este cenário proporciona a avaliação do crescimento baixo da economia frente à situação estável da infraestrutura, sem grandes mudanças que ofereçam o desenvolvimento dos setores econômico, e que conseqüentemente melhorariam as características de consumo final de energia.

TABELA 27 – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO B

Demanda Final de Energia por Setor - Otimista								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	6,008	6,760	7,515	8,355	9,290	10,331	11,524
Transportes	[Mtep]	5,365	5,871	6,898	7,670	8,581	9,569	10,252
Residencial	[Mtep]	2,171	2,458	2,700	2,904	3,193	3,539	3,920
serviços	[Mtep]	3,203	3,574	3,986	4,449	4,965	5,543	6,179
<b>Total</b>	[Mtep]	<b>16,748</b>	<b>18,663</b>	<b>21,099</b>	<b>23,377</b>	<b>26,029</b>	<b>28,981</b>	<b>31,876</b>

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Em situação de baixo crescimento econômico, e com as características de infraestrutura energética se mantendo no mesmo ritmo de crescimento, são percebidas mudanças de consumo principalmente no setor de Transportes, onde ocorrem reduções e até a tendência de inclinação da curva de demanda a partir de 2035, sendo que os outros setores apresentam estabilidade, mesmo com crescimento relativamente baixo.

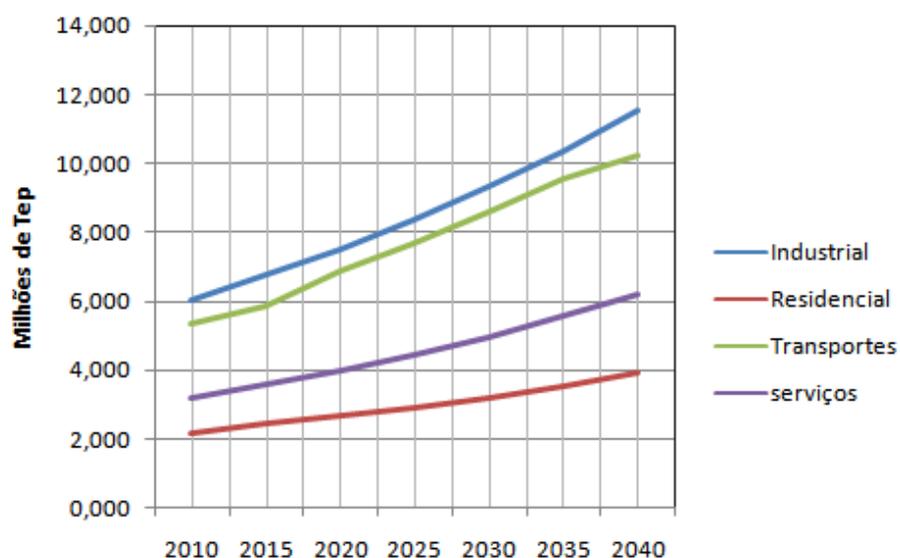


FIGURA 28 – DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO B  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Para a referência pessimista se nota uma declinação nas curvas de crescimento dos consumos energéticos, visto que mostram-se numa crescente também, porém com uma declinação maior com relação ao cenário otimista e referência, tendo em vista os aspectos macroeconômicos citados e as implicações advindas disso ao crescimento econômico.

Idem aos cenários anteriores, as tabelas com indicadores kWh per PIB e o MWh per capita demonstram a evolução dos aspectos de cenarização com relação ao impacto dos indicadores de consumo dos setores econômicos e da sociedade.

TABELA 28 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO B

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Otimista								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18.973	19.626	20.596	21.183	21.893	22.628	23.103
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1.528	1.527	1.548	1.539	1.536	1.534	1.514

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

#### 4.1.3. Avaliação dos indicadores de evolução energética cenário de referência

As Figuras 29 e 30 a seguir apresentam o desempenho dos indicadores de evolução apresentados para cada cenário, e permitem avaliar a variação entre os cenários ao longo do período analisado.

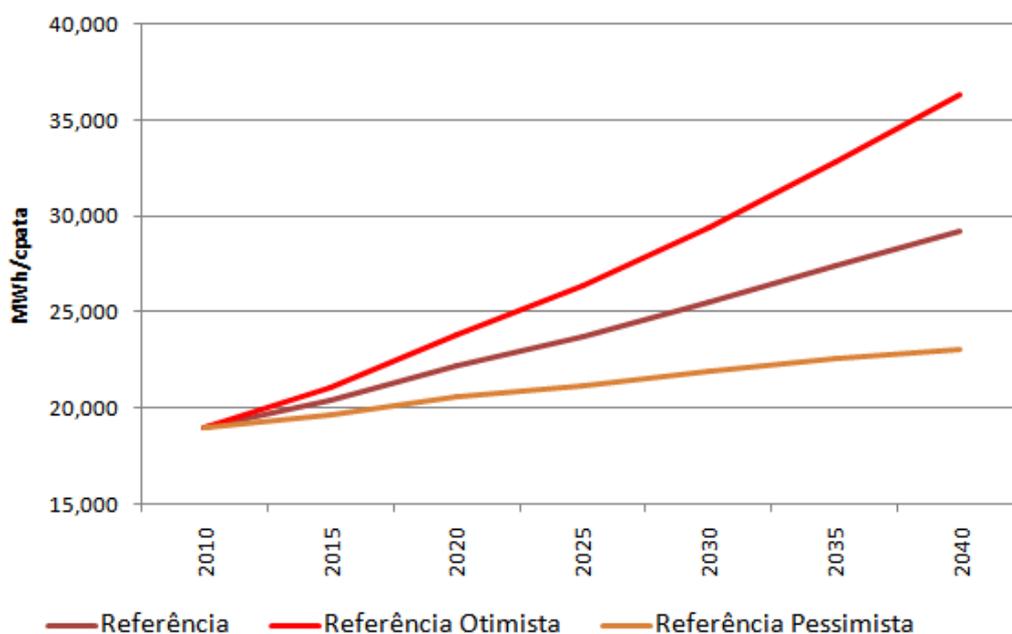


FIGURA 29 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO PER CAPITA ENTRE CENÁRIOS  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

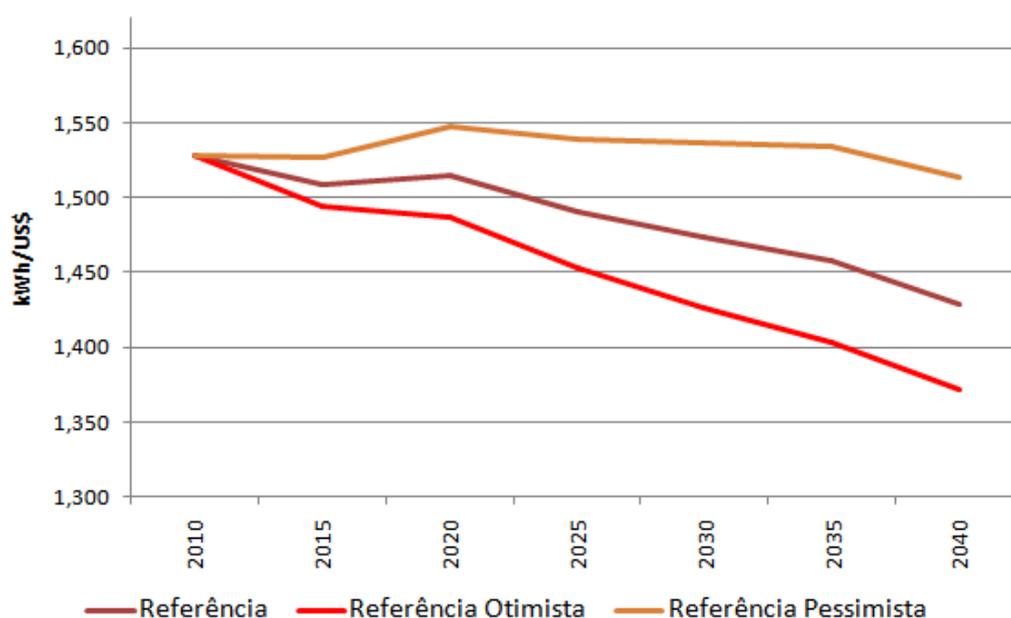


FIGURA 30 – EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA GLOBAL ENTRE CENÁRIOS  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Nota-se que o cenário de referência apresenta um comportamento crescente de consumo per capita com aumento de cerca de 50% até 2040, e os indicadores de eficiência do consumo, medido pela intensidade energética global do estado, sofrem variações entre 2010 e 2020, e a partir daí iniciam

uma curva descendente, o que indica melhoria no perfil de consumo energético com relação ao capital produzido.

O consumo per capita apresenta tendências de reversão da curva a partir de 2035, ao ponto que a intensidade energética global possui uma instabilidade no comportamento, aumentando a partir de 2015, e posteriormente iniciando um declínio já em 2020, que se acentua em 2035.

Os resultados para o cenário de referência otimista mostram a evolução crescente do consumo per capita, devido ao alto índice de crescimento econômico. Nota-se ainda que frente a uma situação relativamente constante em termos de aumento na eficiência no consumo final de energia, melhoram as taxas dinâmicas de intensidade energética no consumo pelos setores econômicos, quando se percebe uma melhoria nos indicadores econômicos, e da sociedade como um todo.

O cenário pessimista apresenta uma realidade um tanto diferente dos outros cenários, com curvas de tendências de inclinação indicando possível reversão ou queda, o que corrobora com as questões macroeconômicas e sociais próprias do cenário de instabilidade e pouco desenvolvimento macro e microeconômico deste cenário. Não obstante, as questões graves de infraestrutura apontadas no cenário pessimista não permitem projeções de melhoria, o que pode ser verificado nos indicadores de consumo per capita e per PIB, nos quais se pode visivelmente notar indícios de queda caso não haja recuperação econômica posterior a 2020.

#### 4.2. Projeções de demanda cenário alternativo

Assim como os demais cenários, o alternativo foi desenhado apresentando os mesmos gráficos e indicadores de base, além das utilizadas para elaboração dos gráficos e obtidas a partir das projeções do modelo e das tabelas elaboradas externamente, conforme serão apresentados a seguir:

TABELA 29 – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO

Demanda Final de Energia por Setor - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	5,893	7,098	7,972	8,941	10,013	11,197	12,232
Transportes	[Mtep]	5,365	6,027	7,184	8,109	9,255	10,541	11,683
Residencial	[Mtep]	2,171	2,317	2,388	2,412	2,442	2,451	2,558
serviços	[Mtep]	3,203	3,644	4,243	4,823	5,491	6,247	7,099
Total	[Mtep]	16,633	19,086	21,788	24,285	27,202	30,437	33,572

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

O gráfico da Figura 31 apresenta os dados da tabela e representa graficamente os valores obtidos com relação às premissas de eficiência energética e demográficas citadas anteriormente.

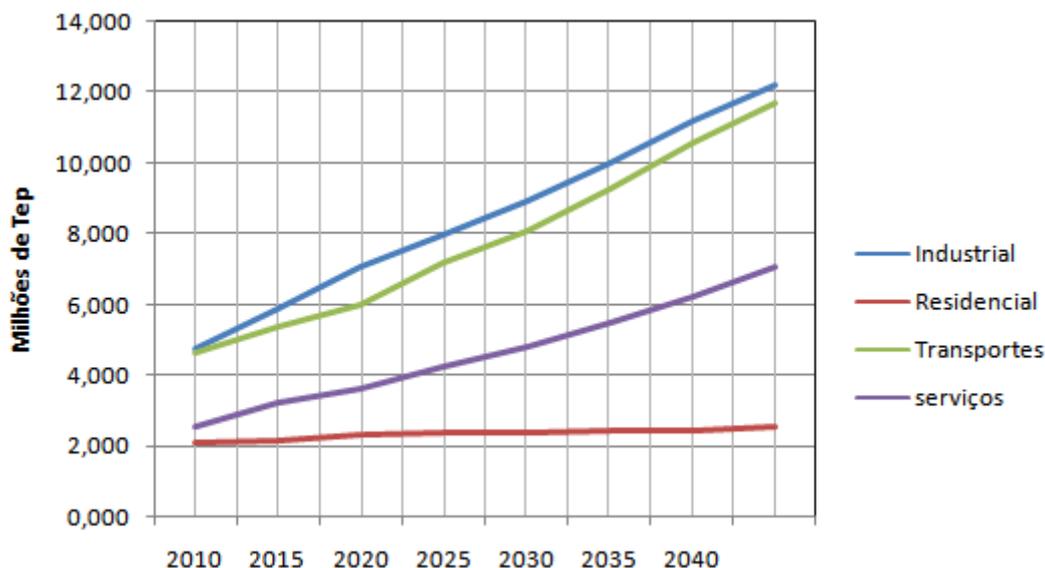


FIGURA 31– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Para o cenário alternativo percebe-se uma aproximação entre o consumo total da indústria e do setor de transportes, tendo em vista que as medidas de eficiência energética apresentadas são voltadas em maior volume à indústria e menos aos transportes.

TABELA 30 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18,843	20,552	22,444	24,064	26,057	28,268	30,305
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1,517	1,487	1,450	1,381	1,322	1,263	1,190

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Neste cenário o consumo per capita de energia no longo prazo passa de 18,8 MWh para 30,3MWh, ao passo que no cenário de referência, conforme apresentado no item 4.3.2, este valor passou de 18,8 para 29,2. Ocorreu então uma modesta variação de 1,1 MWh per capita entre os cenários, o que representa um ganho de aproximadamente 3,8% do cenário alternativo para o de referência.

Já com relação à intensidade energética global no cenário alternativo, houve uma redução pouco maior de 0,3 pontos no longo prazo, muito maior que a redução observada no cenário de referência, que não foi sequer da ordem de 0,1 ponto.

#### 4.2.1. Projeções de demanda - cenário alternativo A

Para o cenário alternativo otimista foram adotadas as considerações previamente descritas no item 4.3.5, com relação à penetração de longo prazo das melhorias de consumo final, além das considerações demográficas consideradas e do cenário econômico otimista que determina o crescimento econômico para o cenário otimista.

A Tabela 31 abaixo apresenta os resultados no longo prazo, devido a aplicação das considerações feitas e das projeções pelo modelo.

TABELA 31 –PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO A

Demanda Final de Energia por Setor - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	5,893	7,416	8,700	10,192	11,922	13,924	15,887
Transportes	[Mtep]	5,365	6,202	7,636	8,908	10,518	12,419	14,364
Residencial	[Mtep]	2,171	2,317	2,388	2,412	2,442	2,451	2,558
serviços	[Mtep]	3,203	3,805	4,625	5,490	6,527	7,754	9,202
Total	[Mtep]	16,633	19,739	23,350	27,001	31,410	36,549	42,011

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

A Figura 32 abaixo apresenta os dados da Tabela 37, e representa o comportamento gráfico do cenário alternativo otimista no longo prazo, devido aos valores obtidos com relação às premissas de eficiência energética e demográficas citadas anteriormente.

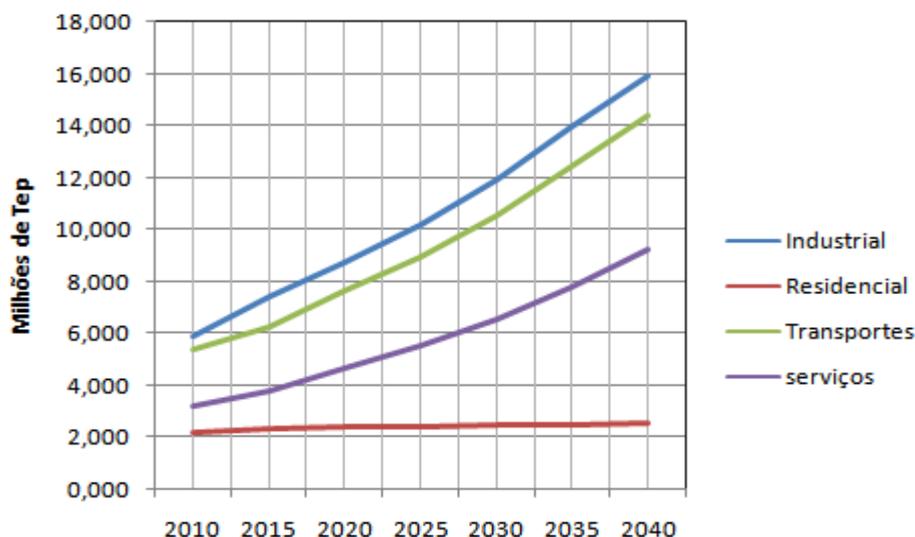


FIGURA 32– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO A  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Pode-se notar uma estagnação do setor residencial frente às considerações alternativas, sendo que os demais setores apresentam curvas de crescimento já a partir de 2020, quando os efeitos das premissas colocadas passam a influenciar os consumos finais de energia nos setores em questão.

O setor residencial apresentou os menores ganhos com relação à eficiência energética posta na metas, haja vista que nos dados dos anos anteriores estes setores já vinham experimentando reduções proporcionadas por medidas intrínsecas ao setor, como por exemplo, o aumento na penetração de eletrodomésticos de maior rendimento ao longo dos últimos anos, além da maior penetração de sistemas de cocção mais nobres, como o gás de cozinha no lugar do carvão.

Contudo o setor é bastante disperso em termos de consumo final, e uma avaliação mais aprofundada especificamente no setor pode determinar as causas exatas da estagnação frente aos demais setores que experimentaram crescimento neste cenário.

Idem aos cenários anteriores, as tabelas com indicadores kWh per PIB e o MWh per capita demonstram a evolução dos aspectos de cenarização com relação ao impacto dos indicadores de consumo, para os setores econômicos e da sociedade, como na tabela 32 abaixo.

TABELA 32 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO A

Demanda Final de Energia per capta e por unidade do PIB - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18,843	21,255	24,054	26,756	30,087	33,944	37,924
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1,517	1,473	1,425	1,348	1,283	1,221	1,148

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

#### 4.2.2. Projeções de demanda - cenário alternativo B

Para o cenário alternativo pessimista foram adotadas as considerações previamente descritas no item 4.3.5, guardadas as características demográficas consideradas e do cenário econômico pessimista que determina o crescimento econômico para este cenário. Com relação à penetração da eficiência energética e a melhoria no uso final por parte dos setores econômicos, fez-se a consideração de penetração similar ao que foi feito para

o cenário otimista, no entanto devido ao baixo crescimento econômico deste cenário, tais penetrações não tiveram os efeitos positivos a ponto de sobrepor as perdas ou caracterizar melhorias no consumo.

A Tabela 33 abaixo apresenta os resultados no longo prazo, devido a aplicação das considerações feitas e das projeções realizadas pelo modelo.

TABELA 33 – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO B

Demanda Final de Energia por Setor - Alternativo									
Setor	Unit	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	4,756	5,893	6,759	7,227	7,719	8,232	8,767	9,120
Transportes	[Mtep]	4,653	5,365	5,839	6,723	7,330	8,077	8,868	9,400
Residencial	[Mtep]	2,116	2,171	2,317	2,388	2,412	2,442	2,451	2,558
serviços	[Mtep]	2,545	3,203	3,472	3,851	4,171	4,525	4,904	5,309
Total	[Mtep]	14,069	16,633	18,387	20,190	21,631	23,277	24,990	26,388

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Como pode ser visto no gráfico da figura 25, neste cenário já é possível notar a influencia das premissas adotadas, principalmente com relação ao setor industrial que passa a ter menos consumo que o setor de transportes ao longo do tempo, assim como o setor residencial que praticamente mantém seu consumo estagnado, sofrendo pequenas alterações em 2015 e 2035.

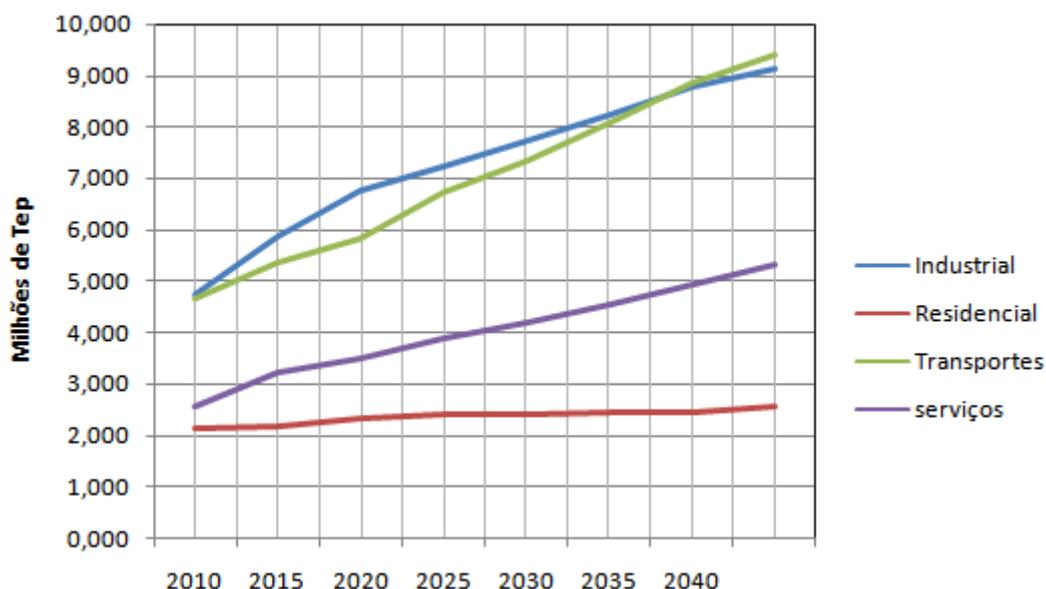


FIGURA 33– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO B

Idem aos cenários anteriores, as tabelas com indicadores kWh per PIB e o MWh per capita demonstram a evolução dos aspectos de cenarização com

relação ao impacto dos indicadores de consumo dos setores econômicos e da sociedade.

TABELA 34 – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO B

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18,843	19,799	20,799	21,434	22,296	23,209	23,820
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1,517	1,504	1,481	1,424	1,374	1,323	1,253

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

#### 4.2.3. Evolução dos indicadores de consumo cenário alternativo

As figuras 34 e 35 a seguir apresentam o desempenho dos indicadores de evolução apresentados para cada cenário, e permitem avaliar a variação entre os cenários ao longo do período analisado.

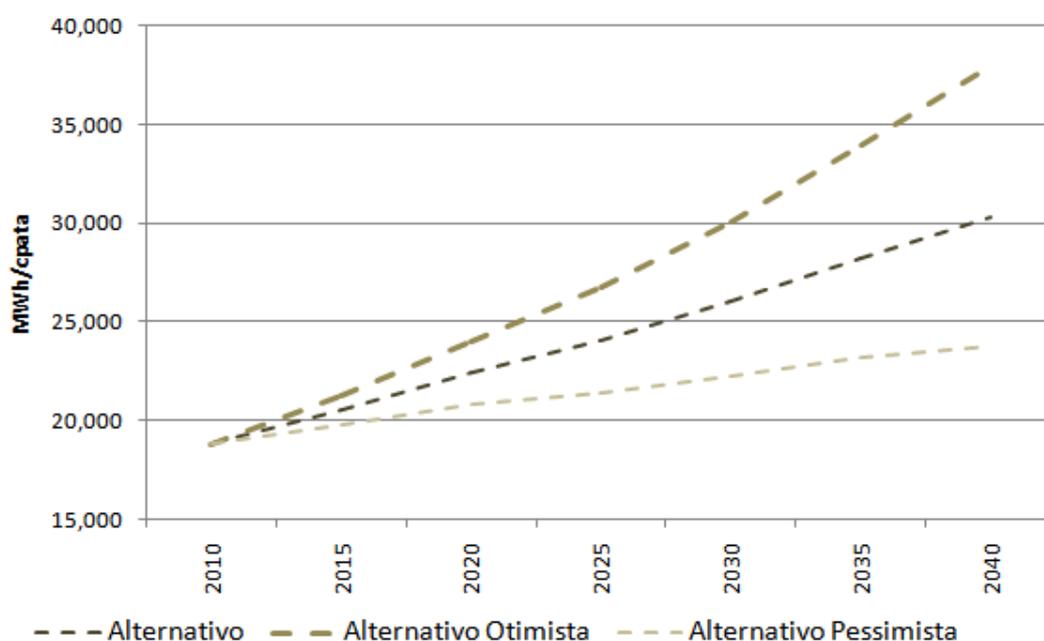


FIGURA 34– EVOLUÇÃO DO CONSUMO PER CAPITA CENARIO ALTERNATIVO

FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Para os indicadores de consumo no cenário alternativo, o consumo per capita apresenta uma ligeira tendência de aumento da curva a partir de meados de 2025, mas vem em constante crescente ao longo do período avaliado, e apresenta ganhos de eficiência que repercutem na redução global do consumo tanto no alternativo quanto no otimista. Já no pessimista Já os

indicadores de MWh per capita demonstram que ocorre uma influencia direta no cenário pessimista, com relação às premissas adotadas, uma vez que o consumo per capita não aumenta sequer em 50%, quando no cenário alternativo e otimista este indicador ficou em torno do dobro.

No entanto cada setor percebe de forma diferente tal redução, o que pode ser visto no item anterior de comparação entre os setores, principalmente devido à parcela que cada setor absorve dos aspectos de crescimento demográfico e da economia, além da absorção dos ganhos de eficiência energética.

Com relação à intensidade global neste cenário, observa-se que apresenta maior linearidade ao longo do tempo, sendo que as taxas de variação entre as premissas otimistas e pessimistas do cenário alternativo permanecem similares, com o comportamento gráfico parecido ao cenário de referência.

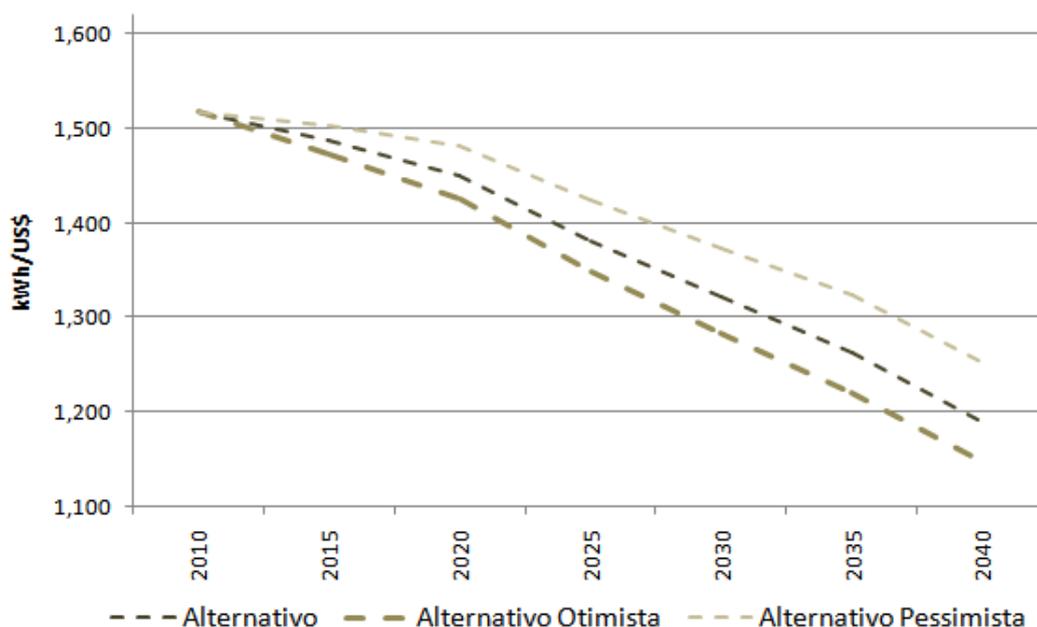


FIGURA 35– EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL CENARIO ALTERNATIVO  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

#### 4.3. Comparação da demanda nos setores - cenário referência versus alternativo

A comparação a ser apresentada nas próximas seções vislumbra avaliar os impactos dos cenários propostos com relação ao consumo final de energia

por setor, permitindo a análise pontual de cada setor com relação ao consumo devido as fatores considerados nas premissas adotadas.

A comparação a ser feita entre os cenários de demanda e oferta, em virtude das premissas econômicas e sociais, além das questões de demanda similares a cada período, será feita entre os cenários de referência e Alternativo, para as considerações de indicadores Otimistas e Pessimistas.

A Figura 36 abaixo apresenta a evolução conjunta no longo prazo, relativo ao consumo total energético dos setores avaliados, no cenário referência.

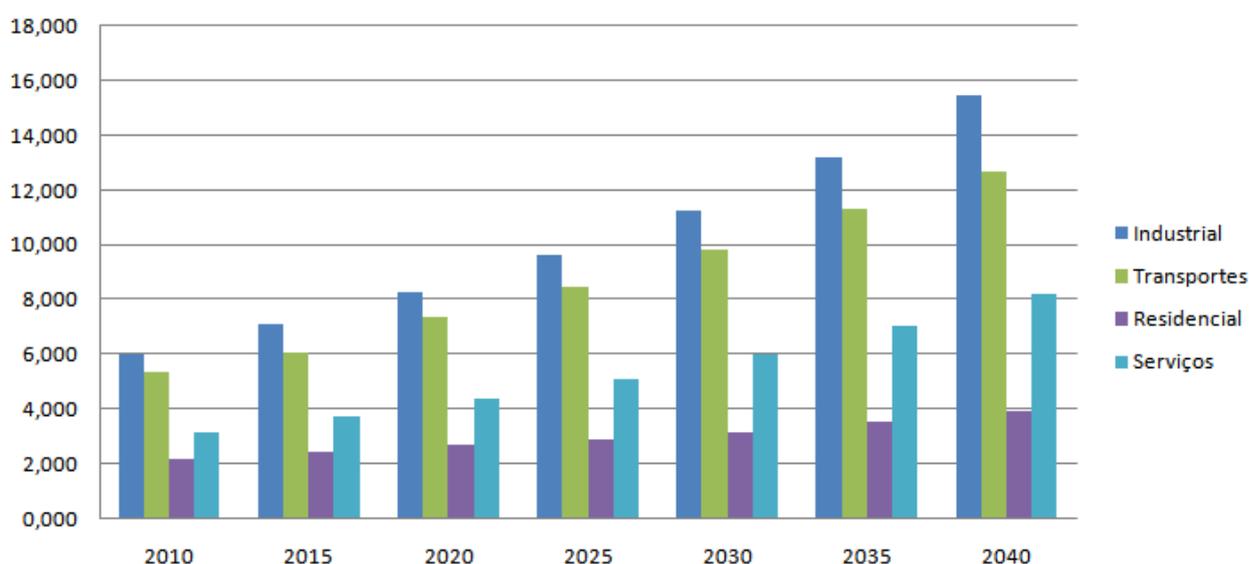


FIGURA 36 - GRÁFICO DEMANDA FINAL POR SETOR DA ECONOMIA REFERENCIA  
 FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

A Figura 37 em seguida apresenta o gráfico da evolução conjunta no longo prazo, relativo ao consumo total energético dos setores avaliados, no cenário alternativo. Após as comparações, notou-se que ao longo tempo o cenário alternativo apresentou uma redução total de 6.722 tep em relação ao cenário referência, uma redução equivalente a cerca de 16,68% do total estimado para o cenário de referência.

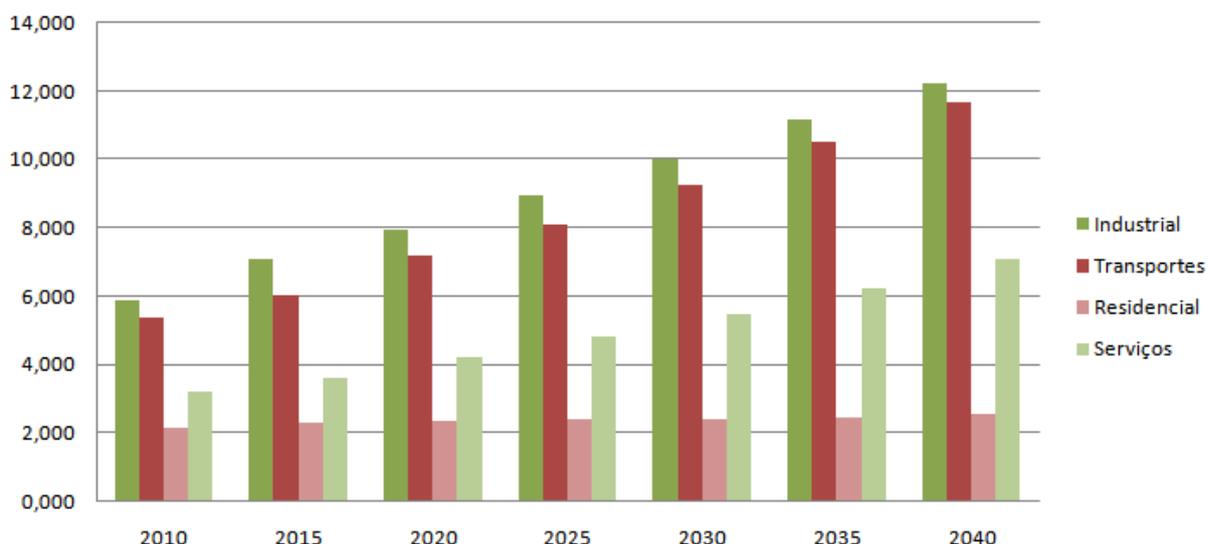


FIGURA 37 –GRÁFICO DEMANDA FINAL POR SETOR DA ECONOMIA ALTERNATIVO  
 FONTE:RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Dentre os setores principais notados, observou-se uma distribuição das reduções proporcionadas no cenário alternativo, sendo que no cenário referência houve uma similaridade em relação ao cenário otimista, onde a indústria teve maior participação da redução total, e os outros setores ficam em proporções similares.

Assim como para o cenário otimista, foram desenvolvidas gráficos comparativos para os quatro setores, visando avaliar quais premissas consideradas no planejamento de longo prazo para o estado do Paraná, sendo que os gráficos a seguir apresentam os resultados por setor da economia.

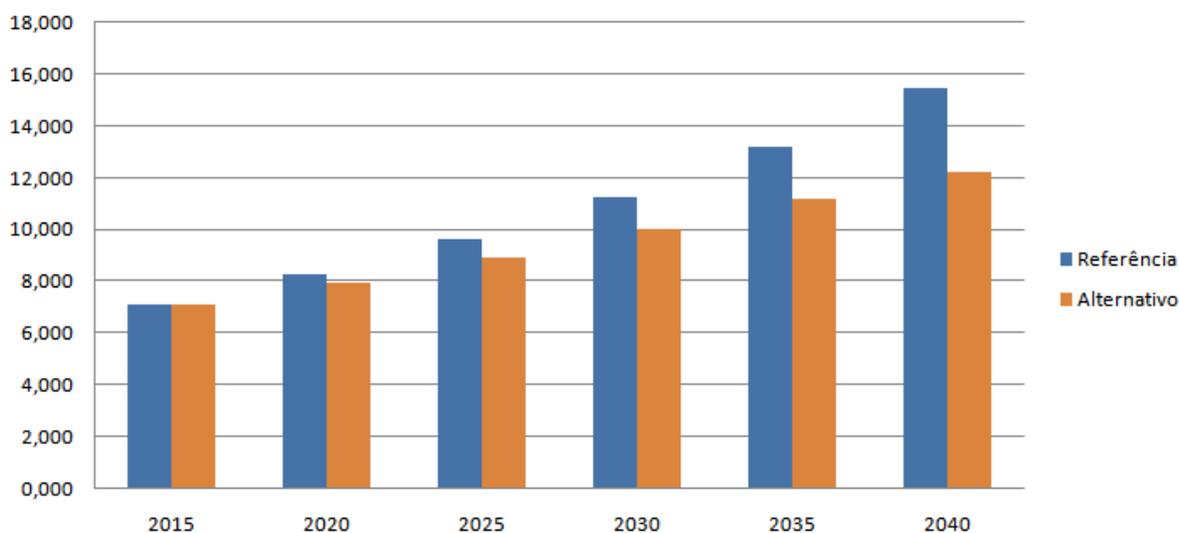


FIGURA 38 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR INDUSTRIAL  
 FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

No setor Industrial pode-se observar em 2040 a redução total de 21,3%, devido ao cenário alternativo em relação ao cenário de referência, o que significa algo em torno de 3.310 tep.

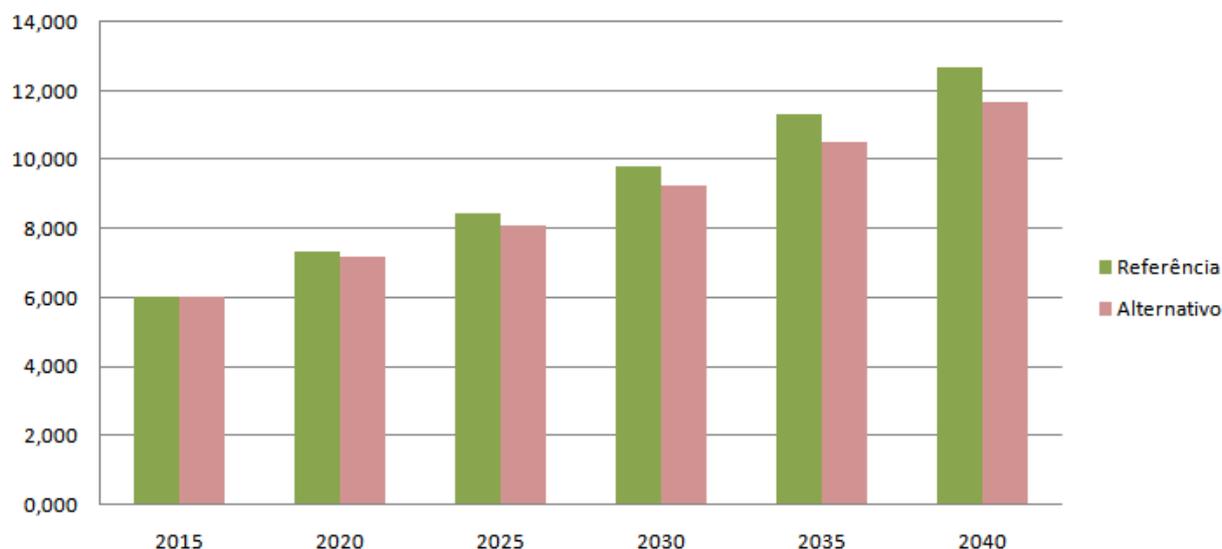


FIGURA 39 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR TRANSPORTES  
FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

No setor de transportes a redução em 2040 foi de cerca de 7,78%, devido ao cenário alternativo em relação ao cenário de referência, o que significa algo em torno de 986 tep.

No setor de serviços observou-se uma redução em 2040 na ordem de 13,98%, devido ao cenário alternativo em relação ao cenário de referência, o que significa algo em torno de 1.153 tep.

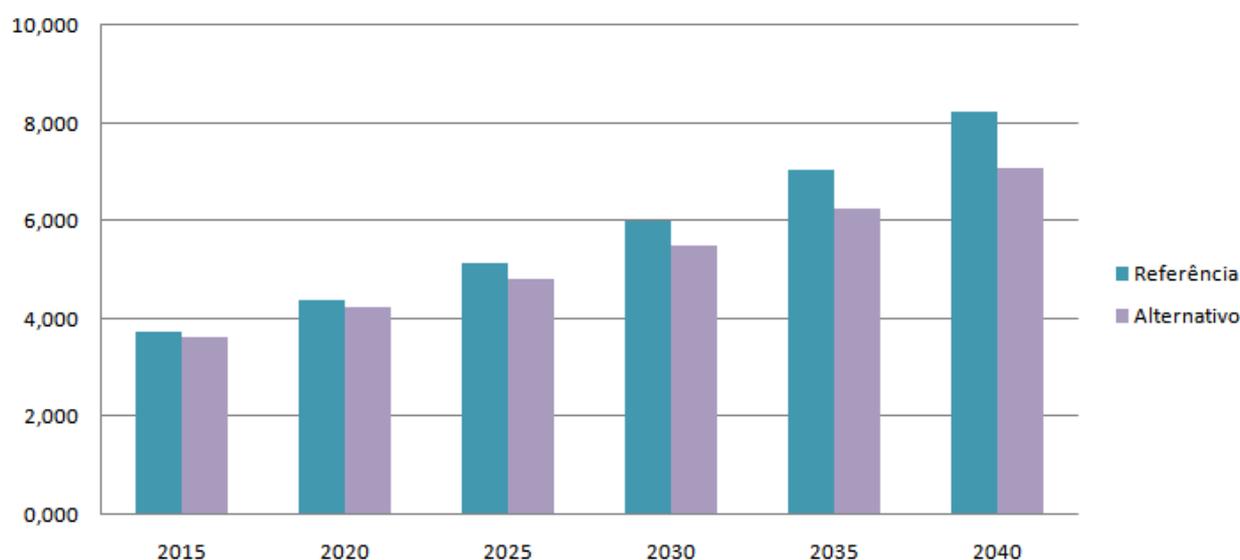


FIGURA 40 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR SERVIÇOS  
FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS



FIGURA 41 –COMPARATIVO DEMANDA FINAL SETOR RESIDENCIAL  
 FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

No setor residencial foi observada a maior redução proporcional, sendo que em 2040 o consumo total foi cerca de 34% menor, devido ao cenário alternativo em relação ao cenário de referência, o que significa algo em torno de 1.360 tep.

#### 4.4. Projeções de oferta - cenário referência

Os resultados serão apresentados na seqüência para cada período da análise de projeção, considerando os cenários de demanda de referência apresentados, e consideradas as premissas de oferta de energia no estado de acordo com BEP (2010), e com as fontes e prospecções determinadas em balanços oficiais, bem como nas hipóteses determinadas em função das políticas citadas, sendo que os resultados são apresentados a seguir:

Assim como para avaliação da demanda na referência, para oferta também foram apresentados os gráficos e indicadores de base, com relação à evolução do consumo por tipo fonte secundária, apresentados na Tabela 35:

TABELA 35 – EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA

Oferta Final de Energia por Energético								
Sector	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Combustível Fóssil	[Mtep]	12,048	13,780	16,282	18,741	21,689	25,121	28,681
Biomassa	[Mtep]	1,471	1,755	2,071	2,438	2,875	3,412	3,962
Eletricidade	[Mtep]	1,790	2,138	2,545	3,021	3,582	4,228	4,915
Combustíveis Tradicionais	[Mtep]	1,424	1,677	1,828	1,950	2,100	2,219	2,587
Outras Fontes	[Mtep]	0,015	0,018	0,022	0,050	0,080	0,135	0,149
Total	[Mtep]	16,748	19,368	22,749	26,201	30,326	35,115	40,294

FONTE:RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

Com relação à oferta neste cenário, nota-se que o combustível fóssil se mantém na faixa de 70% de penetração, assim como no anterior, o que indica que as alterações propostas não influenciam a oferta deste combustível, haja visto a sua grande parcela na composição do mix energético, assim como a grande dependência dos setores por este tipo de energia.

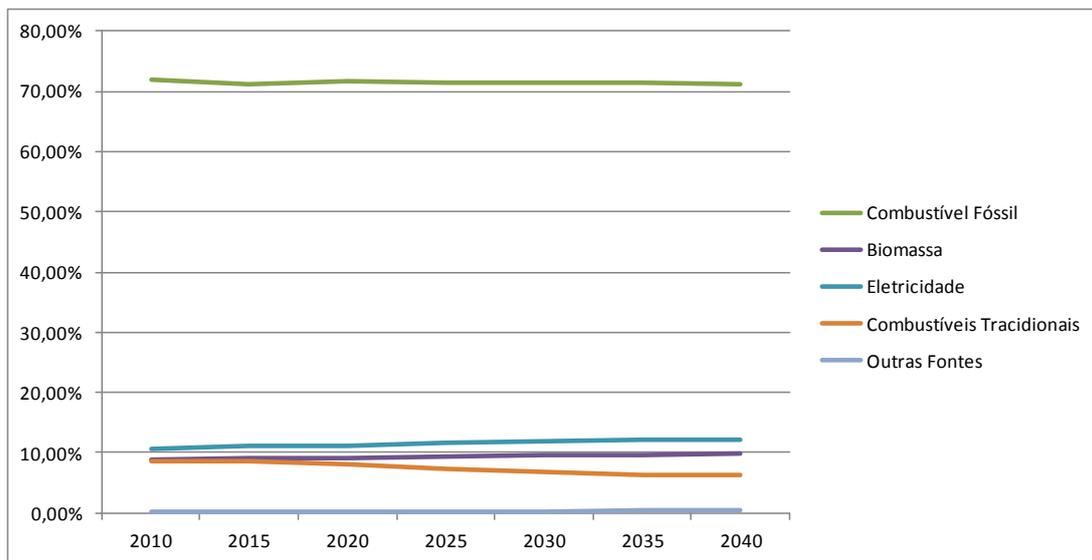


FIGURA 42 –EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA POR ENERGETICO  
FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Ao destacar o combustível fóssil e analisar o comportamento da oferta dos demais energéticos, percebe-se que o uso da eletricidade e da biomassa apresentam curvas de crescimento ao final do período de projeção, ao passo que o cenário no cenário otimista estes energéticos apresentaram curvas com tendências de reversão do crescimento, tal como mostrado na figura 42a.

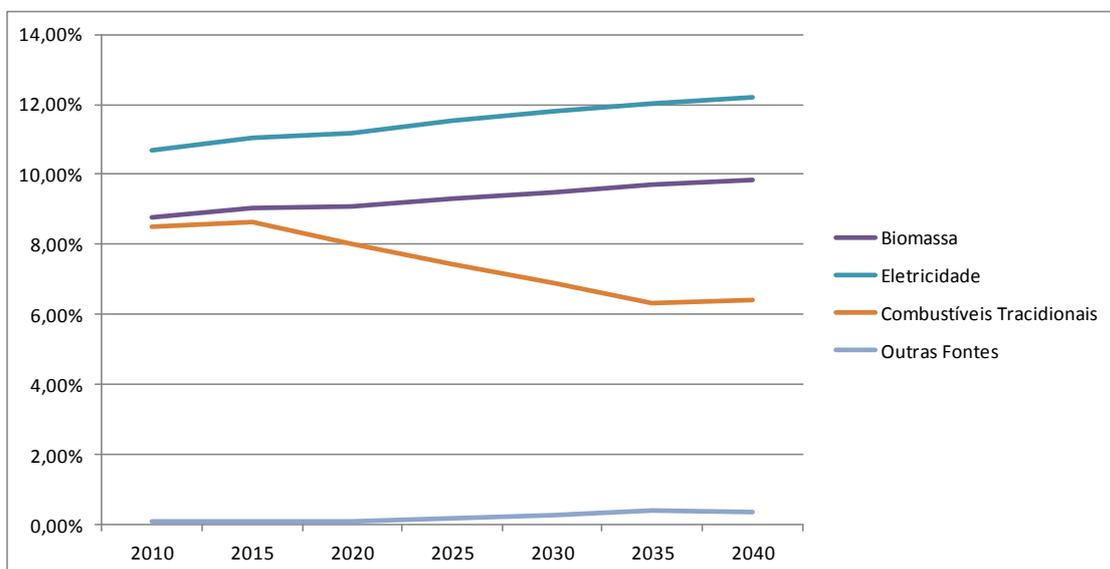


FIGURA 42a –EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTIVEIS FOSSEIS  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

#### 4.4.1. Oferta de energia cenário de referência A

Assim como os demais cenários, o otimista foi desenhado apresentando os gráficos e indicadores de base, com relação à evolução do consumo por tipo fonte secundária, por parte dos setores econômicos, conforme apresentados na Tabela 36:

TABELA 36 – EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA A

Oferta Final de Energia por Energético								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Combustível Fóssil	[Mtep]	12,048	14,247	17,439	20,815	24,993	30,056	35,770
Biomassa	[Mtep]	1,471	1,826	2,241	2,744	3,364	4,144	5,015
Eletricidade	[Mtep]	1,790	2,216	2,731	3,355	4,114	5,025	6,060
Combustíveis Tradicionalis	[Mtep]	1,424	1,719	1,926	2,124	2,376	2,630	3,176
Outras Fontes	[Mtep]	0,015	0,019	0,024	0,054	0,086	0,143	0,161
Total	[Mtep]	16,748	20,026	24,362	29,092	34,932	41,997	50,182

FONTE:RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

Retirando os combustíveis fósseis do total consumido, a Figura 43 apresenta as taxas de penetração verificadas com relação aos outros energéticos, de forma a perceber melhor a variação dos demais energéticos que compõem a cadeia de fornecimento de energia, principalmente porque foi entre os demais energéticos que ocorreram substituições e variações significativas no longo prazo.

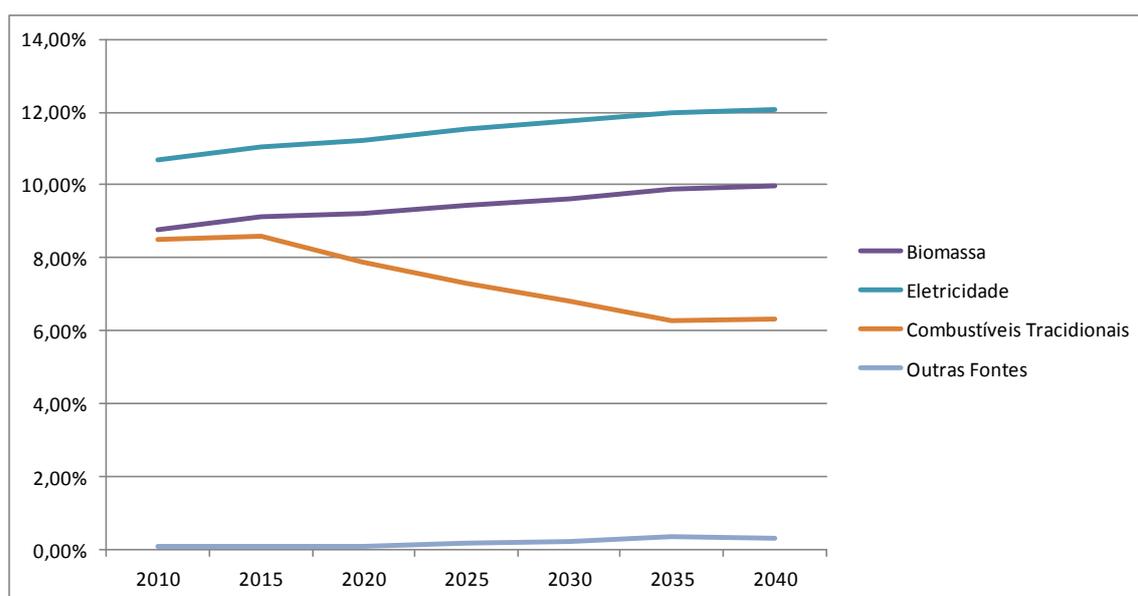


FIGURA 43 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA POR ENERGETICO

FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

#### 4.4.2. Projeções de oferta - cenário referência B

Assim como os demais cenários, o pessimista foi desenhado apresentando os gráficos e indicadores de base, com relação à evolução do consumo por tipo fonte secundária, conforme apresentados na Tabela 37:

TABELA 37 – EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO REFERÊNCIA B

Oferta Final de Energia por Energético								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Combustível Fóssil	[Mtep]	12,048	13,279	15,098	16,716	18,607	20,724	22,645
Biomassa	[Mtep]	1,471	1,679	1,897	2,139	2,419	2,759	3,066
Eletricidade	[Mtep]	1,790	2,055	2,355	2,695	3,085	3,518	3,940
Combustíveis Tradicionais	[Mtep]	1,424	1,633	1,729	1,781	1,843	1,854	2,085
Outras Fontes	[Mtep]	0,015	0,017	0,020	0,047	0,075	0,128	0,140
Total	[Mtep]	16,748	18,663	21,099	23,377	26,029	28,981	31,876

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

Mesmo no cenário pessimista, pode ser observado pela tabela anterior que o combustível fóssil se mantém na faixa de 70% de penetração, no entanto com tendências de queda já a partir de 2030, diferente dos cenários anteriores aonde vinha se mantendo constante.

Dentre os motivos estão os fatores de redução demográfica e econômica, além das premissas de eficiência energética não atuarem no setor de combustíveis diretamente. No gráfico da figura 44, destacados os energéticos sem a presença dos fósseis, nota-se uma maior necessidade de biomassa e eletricidade, e uma retomada no uso dos combustíveis tradicionais a partir de 2035, sendo que nos outros cenários estava em queda.

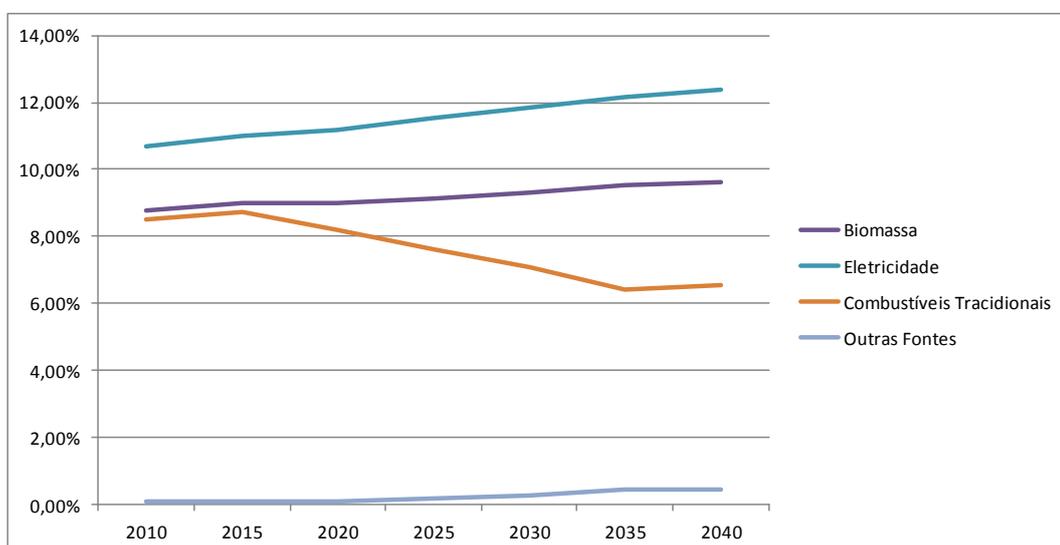


FIGURA 44 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTÍVEIS FOSSEIS

FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

#### 4.5. Projeções de oferta cenário alternativo

O cenário de oferta alternativo está ligado às características citadas no item 3.6.2, que descreve a formação dos cenários alternativos de demanda, bem como às considerações devidas às penetrações observadas nos anos de referência para a oferta, e que serão incorporadas das premissas alternativas, assim compondo um novo comportamento às taxas de penetração para as ofertas nos cenários alternativos de longo prazo.

Foram feitos cenários considerando os resultados apresentados pelo MAED no capítulo 4.2, relativos aos cenários alternativos de demanda, e consideradas as premissas de oferta de energia no estado de acordo com BEP (2010), além das questões de penetração por tipo de fonte observados no balanço, e das previsões possíveis de ser obtidas com relação à oferta.

Os resultados serão apresentados na seqüência para cada período de análise da projeção, de forma similar ao cenário de referência anteriormente apresentado.

A Tabela 38 apresenta o desempenho da oferta no cenário alternativo, de acordo com a demanda apresentada pelo MAED e das considerações citadas.

TABELA 38 – OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO

Oferta Final de Energia por Energético								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Combustível Fóssil	[Mtep]	11,985	13,554	15,598	17,406	19,522	21,915	24,158
Biomassa	[Mtep]	1,467	1,754	2,054	2,396	2,793	3,251	3,738
Eletricidade	[Mtep]	1,758	2,113	2,394	2,691	3,027	3,371	3,619
Combustíveis Tracidionais	[Mtep]	1,408	1,642	1,711	1,746	1,797	1,814	1,961
Outras Fontes	[Mtep]	0,015	0,023	0,031	0,046	0,063	0,085	0,096
Total	[Mtep]	16,633	19,086	21,788	24,285	27,202	30,437	33,572

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

A Figura 45 deixa claro que neste caso também os combustíveis fósseis não passam por nenhum tipo de grande alteração, sendo que as mudanças ocorridas em termos de troca de combustível são percebidas apenas nos demais energéticos, em função do comportamento avaliado de acordo com as premissas citadas.

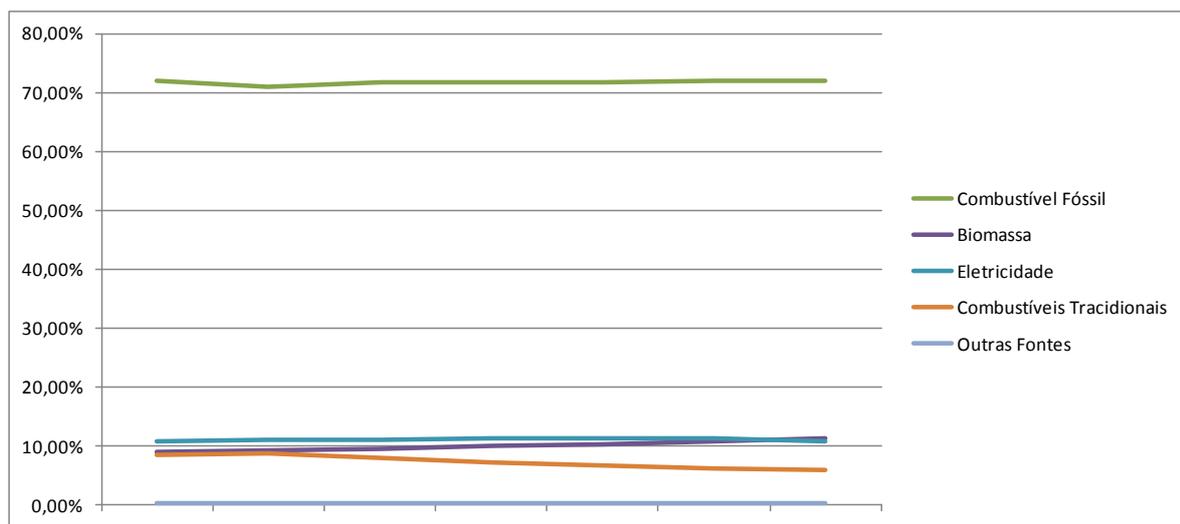


FIGURA 45 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA POR ENERGÉTICO  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

A Figura 45a permite notar que neste cenário já ocorrem inversões de energéticos, ao passo que demonstra a concorrência direta entre a biomassa e eletricidade à partir de 2035, tendo em vista as premissas de eficiência adotadas. Nota-se que as questões demográficas reduzem a procura por energia, e no longo prazo biomassa e eletricidade se equivalem em oferta para atendimento ao consumo.

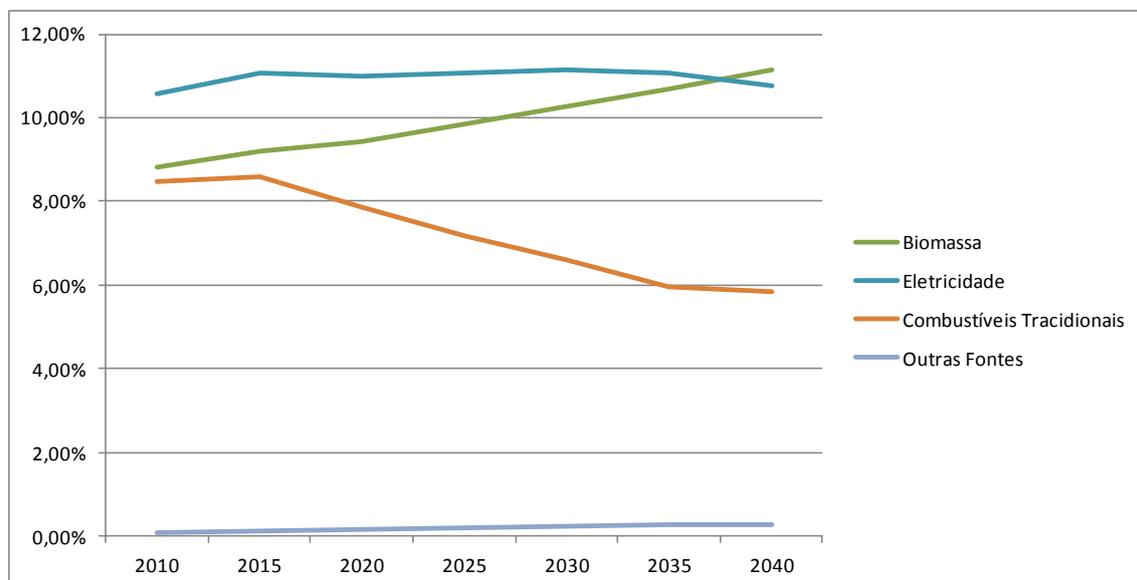


FIGURA 45a – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTÍVEIS FOSSEIS  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Vale notar que neste cenário, assim como no anterior, as outras passam a ocupar um crescimento maior, porém ainda pouco relevante em termos do total de energéticos do estado.

#### 4.5.1. Projeções de oferta cenário alternativo A

A Tabela 39 demonstra os resultados do cenário alternativo otimista, tendo em conta as premissas consideradas e anteriormente descritas com relação aos preços e penetração de energéticos por setor, e verificando as questões relacionadas à demanda por tipo de fonte apresentadas pelo MAED para os cenários equivalentes.

TABELA 39 – OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO A

Oferta Final de Energia por Energético								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Combustível Fóssil	[Mtep]	11,985	14,017	16,720	19,360	22,552	26,327	30,282
Biomassa	[Mtep]	1,467	1,825	2,224	2,701	3,279	3,974	4,768
Eletricidade	[Mtep]	1,758	2,190	2,568	2,987	3,474	4,002	4,446
Combustíveis Tradicionais	[Mtep]	1,408	1,683	1,804	1,905	2,036	2,152	2,407
Outras Fontes	[Mtep]	0,015	0,024	0,033	0,049	0,069	0,093	0,107
Total	[Mtep]	16,633	19,739	23,350	27,001	31,410	36,549	42,011

FONTE:RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

Notadamente como nos cenários anteriores, os combustíveis fósseis ocupam a maior parte da penetração, sendo que os demais energéticos neste cenário começam a apresentar tendências de reversão de uso. A figura 44 apresenta os demais energéticos excluindo os combustíveis fósseis.

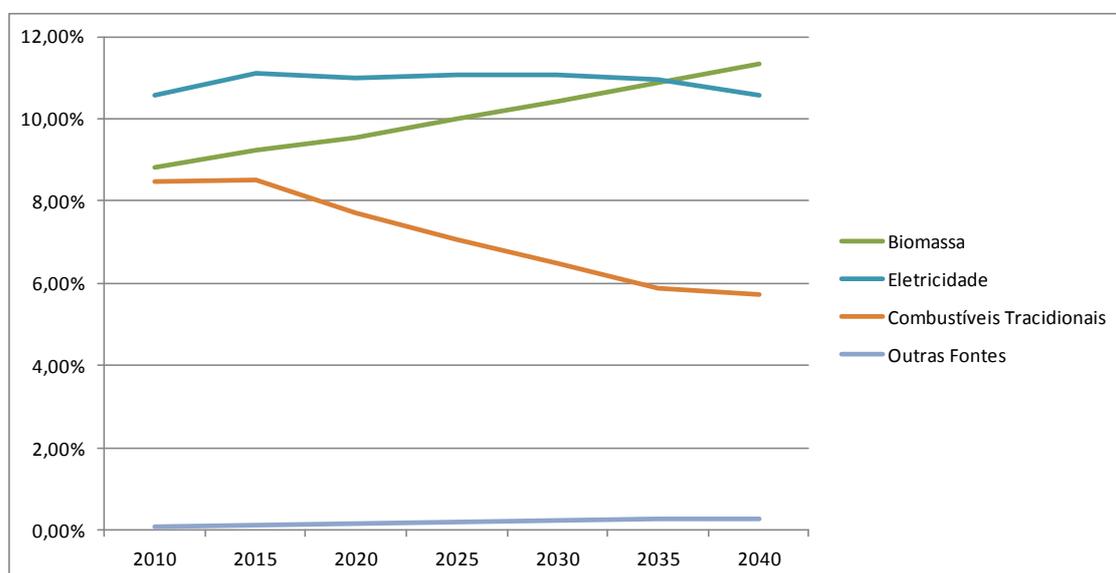


FIGURA 46 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTÍVEIS FOSSEIS

FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Para oferta no cenário alternativo otimista, como pode ser visto no gráfico da Figura 46, ocorre o aumento da troca entre biomassa e eletricidade, e neste caso entre meados de 2035 e 2040 ocorre uma inversão no consumo de biomassa e eletricidade em maior volume que no cenário anterior, haja visto que as tendências de eficiência energética passam a ter maior efeito à medida que ambos energéticos concorrem para o consumo final, principalmente na indústria, que sente mais os efeitos das premissas adotadas no cenário alternativo.

#### 4.5.2. Projeções de oferta - cenário alternativo B

Assim como os demais, a tabela 40 apresenta o desempenho da oferta de acordo com a demanda para o cenário pessimista, no qual são esperadas poucas alterações em função principalmente do baixo crescimento econômico que restringe o consumo.

TABELA 40 – OFERTA DE LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO B

Oferta Final de Energia por Energético								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Combustível Fóssil	[Mtep]	11,985	13,059	14,451	15,498	16,695	17,983	18,945
Biomassa	[Mtep]	1,467	1,677	1,879	2,097	2,339	2,607	2,862
Eletricidade	[Mtep]	1,758	2,031	2,215	2,402	2,610	2,809	2,914
Combustíveis Tradicionais	[Mtep]	1,408	1,598	1,616	1,592	1,573	1,513	1,581
Outras Fontes	[Mtep]	0,015	0,022	0,029	0,042	0,058	0,077	0,086
Total	[Mtep]	16,633	18,387	20,190	21,631	23,277	24,990	26,388

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MESSAGE

Com relação à participação dos energéticos ao longo do tempo, neste caso o combustível fóssil se mantém constante com uma ligeira tendência de queda somente em 2040. Já o uso de eletricidade passa novamente a ocupar destaque e manter-se crescente, como pode ser visto no gráfico da Figura 47, situação na qual a biomassa retoma os índices de oferta de forma similar aos que aconteciam no cenário de referência, o que denota a influência dos indicadores econômicos diretamente no uso de eletricidade ou biomassa para fins energéticos. As outras fontes também aumentaram sua participação neste cenário.

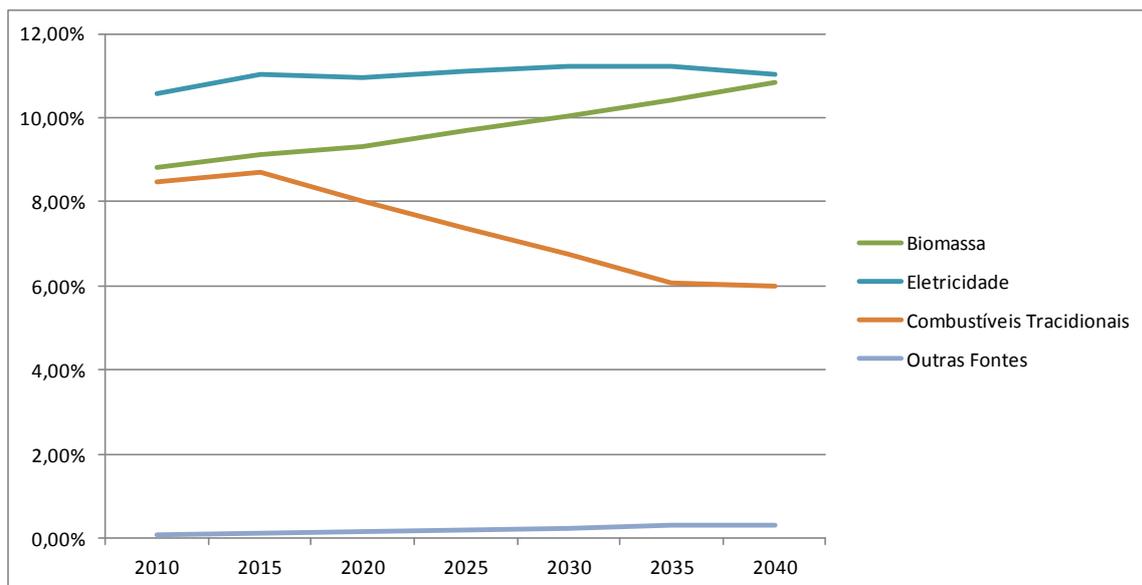


FIGURA 47 – EVOLUÇÃO DA OFERTA INTERNA SEM COMBUSTÍVEIS FOSSEIS  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

#### 4.6. Discussão dos Resultados

Conforme a sistemática utilizada para apresentação dos cenários, os gráficos da Figura 48, para o cenário de referência e alternativo, demonstram o comportamento a partir de 2010 com relação à referência baseada de 2000 até 2010, e o comportamento dos cenários anteriormente descritos e simulados através do modelo proposto para o planejamento energético estadual de longo prazo.

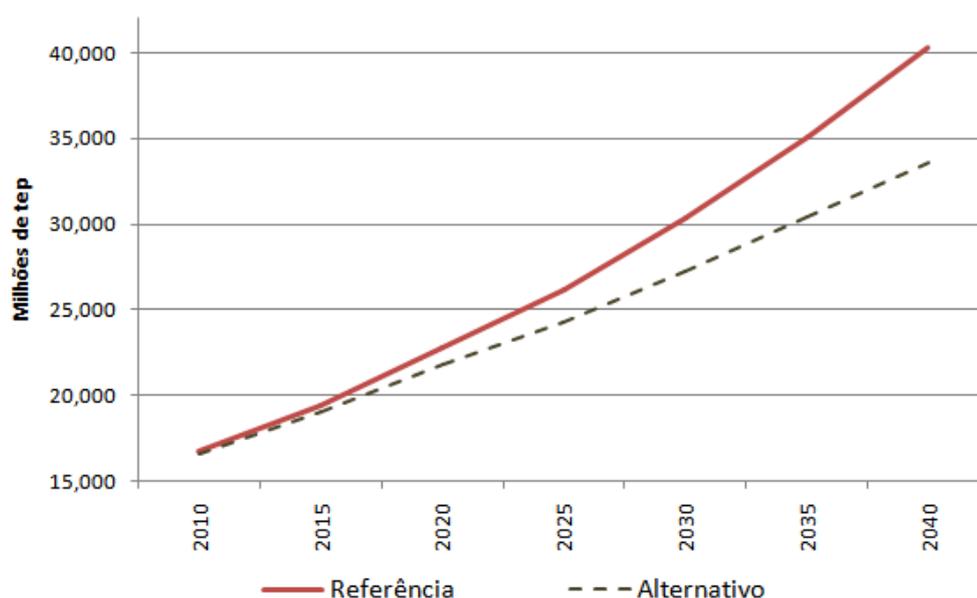


FIGURA 48 – EVOLUÇÃO ENERGÉTICA FINAL  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Comparativamente entre os cenários referência e alternativo, foi observada uma redução no longo prazo da ordem de 6.722 tep, sendo que o consumo total de energia era de 40.294 tep no longo prazo para a referência, e no cenário alternativo passou a 33.572 tep. A Figura 49 abaixo apresenta um gráfico de resumo entre os cenários e as diferenças entre os indicadores de ambos.

REFERÊNCIA	RESULTADO	2010	2040	Variação
	TOTAL (tep)	16.748	40.294	140,58%
	MWh/capita	18,973	29,204	53,9%
	KWh/PIB	1,528	1,429	6,48%
<b>Variação Total:</b>		<b>Variação MWh/capita:</b>		<b>Variação kWh/PIB:</b>
<b>16,68%</b>		<b>3,75%</b>		<b>16,72%</b>
ALTERNATIVO	RESULTADO	2010	2040	Variação
	TOTAL (tep)	16.633	33.572	101,84%
	MWh/capita	18,850	30,300	60,74%
	KWh/PIB	1,517	1,190	21,55%

FIGURA 49 – RESUMO ENTRE CENÁRIOS  
 FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Como se pode observar, a variação total no consumo representou aproximadamente 16,7% de redução na oferta no longo prazo, levando em conta o cenário alternativo em relação ao cenário de referência, demonstrando que o cenário alternativo proporcionou ganhos de escala no consumo final de energia no longo prazo. Esta redução saliente que as premissas de eficiência energética e demográficas possuem influência positiva quando se mantêm os índices econômicos estáveis.

Com relação aos indicadores apresentados sobre a evolução per capita e global do consumo, abaixo segue os gráficos produzidos comparativamente entre os cenários de referência e alternativo.

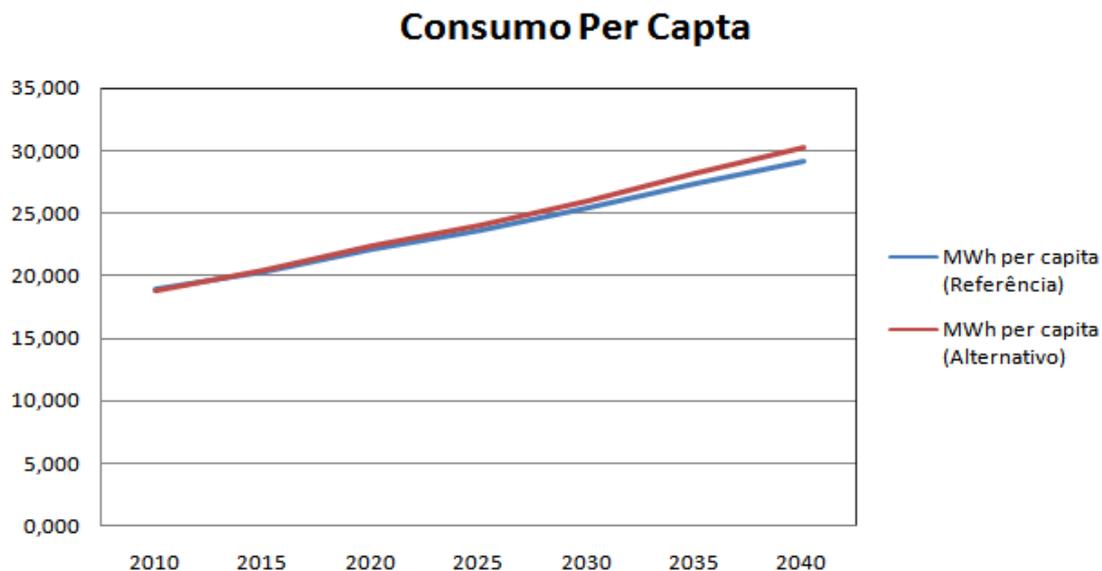


FIGURA 50 –CONSUMO PER CAPITA GLOBAL DO PARANA  
 FONTE:ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

A avaliação do consumo per capita no cenário de referência demonstra que apenas em meados de 2030 são sentidos os efeitos das premissas adotadas. As mudanças estruturais induzidas pelas premissas adotadas demoram a ter efeito neste cenário haja visto a situação de crescimento econômico mediano, acompanhada do declínio da população e conseqüentemente da baixo no consumo de energia. Além disso as medidas de eficiência acabam por contribuir para que o consumo per capita demore a aumentar, visto que a eficiência reduz o consumo per capita.

Assim o consumo per capita em 2040 apresentou um aumento de aproximadamente 3,75%, do cenário alternativo em relação ao cenário de referência. Este aumento é pouco comparado ao aumento do consumo global, o que se deve em partes à situação de redução demográfica sugerida pelo cenário alternativo, mas, sobretudo à consideração de eficiência no uso final de energia, que pode ser notada pelo indicador de intensidade energética global, que reduziu no longo prazo em cerca de 16,72%, passando de 1,429 para 1,190, como pode ser visto no gráfico da figura 51 abaixo.

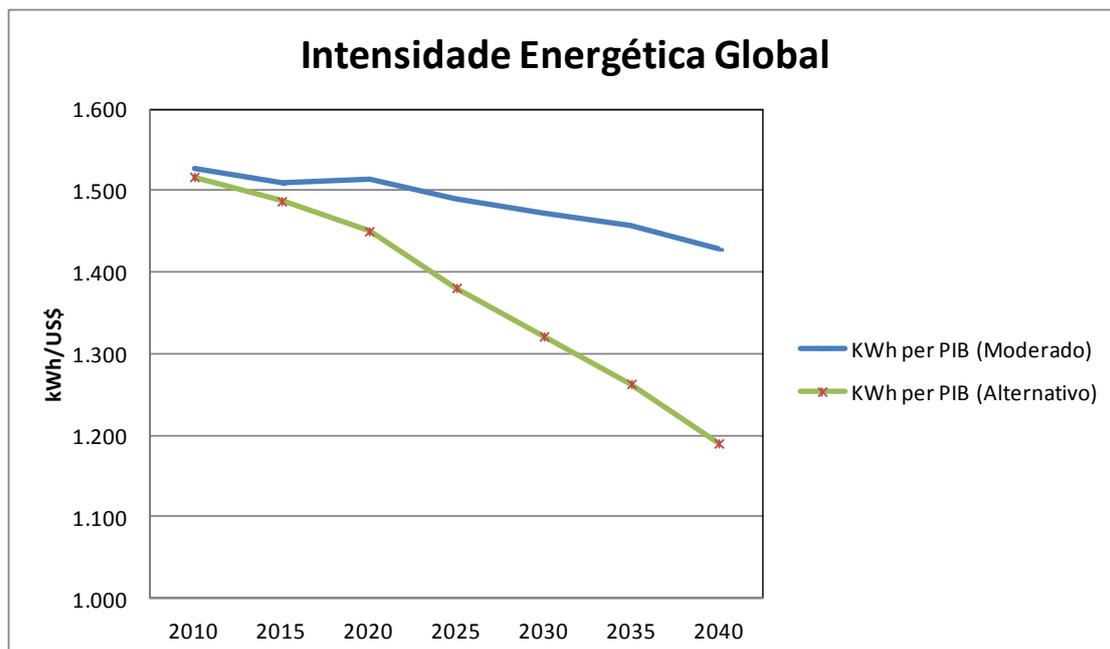


FIGURA 51 –INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL DO PARANA  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Já considerando a variação dos cenários pessimista e otimista propostos para a referência e alternativo, de acordo com os resultados observados no capítulo anterior, foi possível constatar que para a evolução energética estadual houveram diferenças no longo prazo, denotando que as premissas adotadas divergem à medida que os indicadores demográficos e de eficiência energética passam a ser influenciados também pelas projeções de longo prazo pautadas nos indicadores macroeconômicos.

Como pode ser visto no gráfico da Figura 52, no cenário de referência houve um variação positiva de 9888 tep, cerca de 24,5% para o cenário otimista, e uma variação negativa de 8418, cerca de 20,1% para o pessimista.

O comportamento da evolução energética no cenário de referência, bem como suas derivações, demonstram que a influência das premissas econômicas delineadas por meio do PIB causam mais efeito em um situação de baixo crescimento econômico, em detrimento às situações de maior crescimento econômico, quando mantida a taxa de crescimento demográfico constante experimentada nos últimos anos.

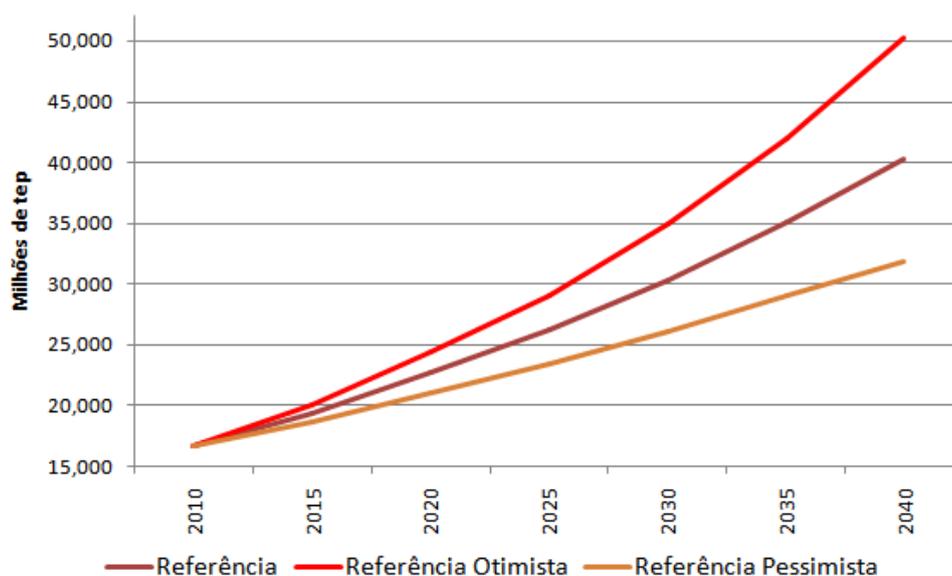


FIGURA 52 – EVOLUÇÃO ENERGÉTICA FINAL CENÁRIO REFERÊNCIA  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Com relação ao cenário alternativo são observadas maiores tendências a ocorrer redução no consumo de longo prazo, frente às mesmas condições estabelecidas para uma situação otimista e pessimista de crescimento econômico, porém considerando uma taxa de variação demográfica que decresce ao longo do tempo.

Como pode ser visto no gráfico da figura 53 abaixo, no cenário alternativo houve um variação positiva de 8439tep, cerca de 25,1% para o cenário otimista, e uma variação negativa de 7184, cerca de 21,4% para o pessimista.

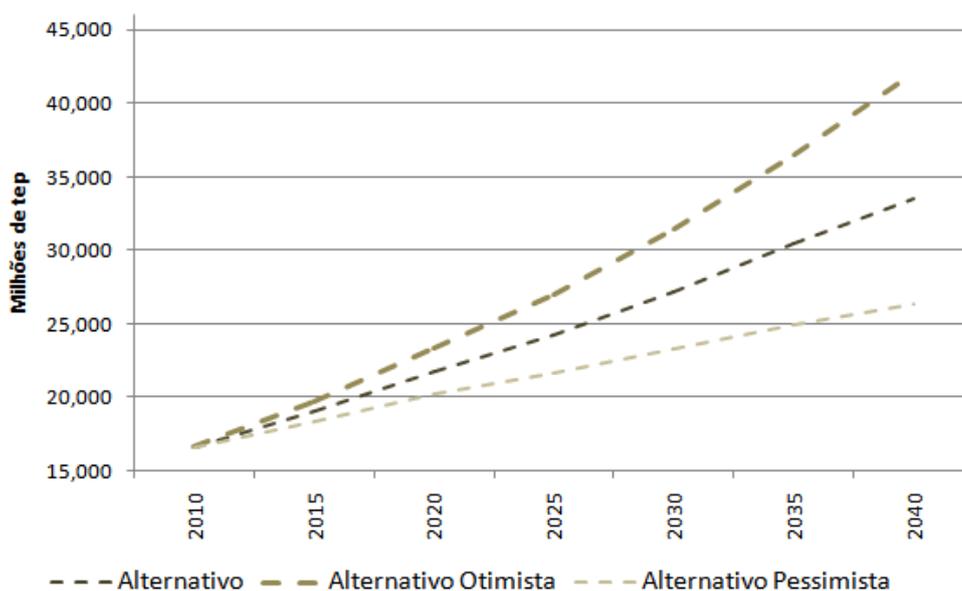


FIGURA 53 – EVOLUÇÃO ENERGÉTICA FINAL CENÁRIO ALTERNATIVO  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

#### **4.7. Considerações Finais do Capítulo**

Neste capítulo foram apresentados os resultados das projeções de demanda e oferta de energia no longo prazo para o estado do Paraná, considerando as premissas apresentadas na formação dos cenários e demais premissas relevantes citadas.

Foram delineadas as questões relacionadas à demanda energética de longo prazo, com relação aos aspectos que a compõem, bem como do método apresentado para os cálculos e projeções, e também as considerações de cada cenário elaborado para projeção futura das necessidades energéticas.

Foram apresentados os cálculos de demanda de longo prazo para os quatro setores econômicos principais propostos, de acordo com a formação do ano base apresentada e que se orientou no comportamento dos últimos dez anos de avaliação. As projeções são descritas conforme a formação proposta dos cenários, sendo que para ambos os cenários principais, referência e alternativo, existem dois outros cenários modelados, o pessimista e otimista.

Os cenários pessimista e otimista buscam complementar a formação dos cenários de referência e alternativo, visando desta forma consolidar os cenários macroeconômicos e suas influências nas considerações com relação ao consumo final de energia no estado do Paraná.

Além da projeção da demanda, foram também apresentados os indicadores denominados de evolução energética, e que buscam representar a variação do consumo individual per capita, e da intensidade global de consumo por capital produzido no estado, tais sejam os indicadores MWh per capita kWh per PIB, respectivamente.

Para os dados da oferta foi seguida a mesma lógica de avaliação dos dados, sendo que foi apresentada para cada cenário a oferta por tipo de energético disponível a nível secundário da cadeia energética. Para validação das projeções foram feitas as considerações a partir dos dados de oferta realizada nos últimos dez anos de avaliação, além das considerações de penetração por fonte e variação de preço, e validado de forma similar à demanda conforme descrito no item 3.5.

Os cenários de oferta são apresentados como referência e alternativo, similar à avaliação feita para demanda, tendo também a consideração de

pessimista e otimista para cada um dos cenários, haja vista a circularidade da avaliação entre os modelos.

Em fim foi projetada a oferta de energia para atendimento à demanda prevista em cada cenário e intervalo de tempo, considerando as questões importantes de formação de preços de energia e penetração de energéticos por cenário, como os parâmetros balizadores na evolução de longo prazo da oferta.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho de dissertação de mestrado foi proposta e desenvolvida uma metodologia para o desenvolvimento do planejamento energético em nível estadual. A metodologia proposta foi aplicada para a elaboração de um plano paranaense de energia de longo prazo (PPE2040) através de prospecções de oferta e demanda de energia para os vários cenários descritos.

A partir dos resultados avaliados pode-se notar uma redução de consumo de energia nos quatro setores da economia analisados, à medida que os anos se passam se acentuam mais os resultados destas reduções, tendo como principal meio de propagação as medidas de eficiência energética apresentadas nas premissas de formação do cenário alternativo.

Alguns setores tiveram mais afetado seu consumo em detrimento aos outros, muito embora globalmente estes dados convirjam para uma economia de escala para todos os setores, uma vez que a dinâmica de consumo esta interligada à medida que os setores são interdependentes, e também suas taxas de crescimento norteadas por fatores sociais e econômicos, além das características de consumo energético apresentadas por meio dos indicadores tecnológicos.

Em suma, os resultados apresentam a evolução gráfica e o desempenho dos cenários propostos em relação à evolução observada em cada setor individualmente, medido através do consumo direto por tipo de energético e do consumo final em toneladas equivalentes de petróleo.

A conjunção de todos os setores para avaliação global é medida por meio dos indicadores representados pelo consumo per capita e pela intensidade energética global, que sintetizam as dinâmicas de todos os setores, e congregam as questões socioeconômicas e tecnológicas em um único parâmetro, permitindo a relação entre os cenários e a avaliação conjunta dos efeitos das premissas adotadas.

Comparativamente aos resultados obtidos para o planejamento estadual de longo prazo, assim como para os setores econômicos distintos, os valores apresentados para o consumo per capita e para a intensidade energética global permitem a avaliação conjunta das ações, sendo que a avaliação destes

elucida as trajetórias possíveis do consumo energético a partir do comportamento da economia e do nível de crescimento demográfico.

Para o indicador de consumo energético per capita, que mede a quantidade de energia em MWh consumida por habitante, percebe-se uma melhoria ao longo do período, quando comparado o cenário alternativo com o de referência. No cenário de referência este valor era projetado para 29,204MWh/per capita em 2040, ao passo que no cenário alternativo este valor foi de 30,305MWh/per capita, demonstrando que o indicador sofreu pouca alteração mesmo quando o consumo neste cenário aumentou mais de 16%.

Já com relação ao indicador de intensidade energética global, que mede a quantidade de energia em kWh por unidade monetário do PIB, percebe-se uma melhoria ao longo do período, quando comparado o cenário alternativo com o de referência. No cenário de referência este valor era projetado para 1,429 em 2040, ao passo que no cenário alternativo este valor foi de 1,190, acompanhando a tendência de redução na intensidade de uso final de energia por unidade monetária do estado.

De forma a complementar este capítulo, é apresentado um apêndice que demonstra um segundo cenário alternativo, no qual somente é feita a consideração da penetração da eficiência energética, deixando as taxas de crescimento da população fixas da mesma forma que para o cenário de referência. O objetivo deste apêndice é de apresentar a avaliação da sensibilidade dos resultados frente à modificação das premissas, visando destacar os possíveis desvios que as taxas demográficas inserem nas projeções de longo prazo.

Os resultados e a comparação deste cenário alternativo 02 e do cenário alternativo inicialmente proposto serão também descritas no item apêndice A.

### **5.1. Contribuição dos resultados para o planejamento energético de longo prazo**

Assim o planejamento energético estadual de longo prazo aponta um norte com grau de assertividade a ser melhor compreendido, à medida que as técnicas de projeção vão sendo incorporadas aos aspectos técnicos do poder público, e disseminadas nas academias e na indústria, por meio dos

mecanismos de projetos estratégicos relacionados ao planejamento energético de longo prazo.

A incorporação das projeções de eficiência energética nos setores da economia, por meio das técnicas descritas no estudo, permitiu avaliar os impactos da relação entre o consumo e a produção estadual, e proporcionou uma visão mais completa com relação aos horizontes que cada cenário possibilita quando se associam ao longo prazo as metas do plano nacional de eficiência energética.

A avaliação mais profunda da questão da penetração da eficiência energética no planejamento energético de longo prazo, bem como os resultados obtidos por meio dos cenários propostos, permite dizer que não somente as questões de consumo de energia, mas também aquelas relacionadas à situação econômica e aos aspectos demográficos são determinantes na consideração do planejamento estadual, haja vista a influência observada quando se tecem cenários alternativos ao comportamento dinâmico observado da economia.

Este aspecto pode ser verificado devido ao fato que se verificou que a penetração da eficiência energética no longo prazo, fazendo a relação entre as metas estabelecidas no PNEf e os resultados obtidos, resultou não apenas na redução do estabelecido nas metas, visto que a redução resultante das projeções foi da ordem de 16%.

Esta diferença denota que as práticas observadas na formação do ano base são de suma importância, uma vez que o fato de a economia observada no longo prazo ser maior do que a meta dos 10%, colocado nas premissas do plano nacional de eficiência, faz entender que a evolução dos processos ao longo do tempo introduz uma eficiência maior à que foi projetada, muito provavelmente em função da melhoria contínua nos indicadores, que representam uma melhoria tanto do ponto de vista de produção quanto do consumo.

Neste aspecto a avaliação proposta neste estudo com relação à comparação entre os cenários pessimista e otimista, corrobora justamente no sentido de tornar necessária na avaliação dos processos de planejamento energético estadual, a consideração de situações diversas sob a ótica econômica, considerando que na formação dos cenários alternativos devem

ser projetadas situações econômicas diversas às dinâmicas observadas nos últimos anos.

Enfim este trabalho apresentou resultados das projeções por meio das consagradas ferramentas de planejamento energético de longo prazo, balizadas por ferramentas de avaliação de erro de projeções, e busca proporcionar um melhor entendimento da questão de planejamento energético estadual de longo prazo, tendo sido aplicada ao caso do estado do Paraná, e incluindo à formação dos cenários geralmente descritos nos planos estaduais a consideração de desvios otimistas e pessimistas às trajetórias projetadas para os cenários futuros.

## **5.2. Propostas para Trabalhos Futuros**

Para trabalhos futuros são apresentados alguns pontos importantes a serem discutidos, visando dar continuidade e reforçar os resultados obtidos neste estudo, bem como vislumbrar novas técnicas ou modelagens a serem aplicadas em estudos de planejamento energético estadual. Dentre as recomendações propostas e observadas a partir dos resultados, são as principais:

- Desenvolvimento de processos de coleta de informações de planejamento de grandes produtores de energia no Paraná;
- Desenvolvimento de processos para projeção de cenários de oferta e demanda de energia a partir das informações coletadas em grandes produtores e consumidores de energia;
- Identificar possibilidades de otimização dos recursos energéticos, considerando o planejamento integrado dos recursos e a identificação de complementaridade sazonal e energética entre as fontes disponíveis;
- Propor avanços regulatórios e políticas públicas estaduais que favoreçam o aumento da oferta e a diversificação da matriz energética estadual, visando à segurança e confiabilidade do suprimento de energia;

- Gerar recomendações para políticas públicas governamentais relacionadas ao uso final de energia nos setores abordados, baseando-se principalmente nos indicadores apresentados de intensidade energética e consumo per capita;
- Apresentar os custos totais para atendimento aos cenários propostos, baseados nas composições das fontes elencadas para atendimento às demandas e em estudos detalhados e mais precisos de preços por energéticos;
- Desenvolver uma análise de sensibilidade a partir dos resultados obtidos versus outros estudos a partir da mesma metodologia e métodos, visando avaliar os desvios e incertezas devido às considerações feitas;
- Avaliar outros compostos que estão sendo estudados em grupos específicos no estado do Paraná, à medida que contribuam à diversificação das matrizes energéticas e possam ser avaliados e modelados, como soluções similares à inserção em larga escala de carros elétricos, do biogás e dos biocombustíveis.
- Estabelecer métodos científicos e econômicos para mensurar investimentos necessários no âmbito estadual, no que diz respeito à instalação de uma nova refinaria, baseado no planejamento de longo prazo.

## REFERÊNCIAS

(AIEA) – International Atomic Energy Agency. Planning and Economic Studies Section. *Brazil: A country profile on sustainable energy development*, Vienna, 2006.

(IAEA) - International Atomic Energy Agency . Planning and Economic Studies Section *MAED Model for Analysis of Energy Demand Software and Users' Manual for Version MAED*, Vienna, 2010.

(ARAJ) Kamal J. Interregional Workshop on Long-range Nuclear Energy Programme Planning and Strategy Development. *Case Study: Programme Development for nuclear energy development in Jordan*, 14-17. Vienna, Junho 2010.

(ANEEL) – *Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição– Caderno Fatores de Conversão*. 2008 Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf> acesso: 01/2013. pags 143 a 144.

(ANEEL) – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Banco de Informações da Geração - BIG*. Brasília 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.asp> acesso: 03/2012.

(ANP) – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ISSN 1983 – 5884*. Rio de Janeiro 2012. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=62402&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1352721821859> acesso: 09/2012.

(BAJAY) BAJAY S. V., *Planejamento da expansão de sistemas energéticos: tipos de modelos, suas vantagens relativas e a atual competência para desenvolvê-los no Brasil*, Relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Projeto BRA/01/039 – Brasília, 2004.

(BEP)- *Balanço Energético do Paraná, ano base 2010*. Curitiba 2010. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FC824D47B05308F650325740C00438020> acesso: 05/2012.

(BNDES) – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. *Manual da Taxa de Juros de Longo Prazo 2012*. Departamento de Política Financeira

AF/DEPOL. Disponível em:  
[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/Custos\\_Financeiros/Taxa\\_de\\_Juros\\_de\\_Longo\\_Prazo\\_TJLP/index.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Custos_Financeiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/index.html)  
 acesso: 03/2012.

(BREEZE) The Cost of Power Generation 2012. *The current and future competitiveness of renewable and traditional technologies*, Business Insights, FLORIDA, 2012.

(C3E) - *Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – SPE*, Ministério de Minas e Energia- MME, Brasília, DF, 2012.

(COPEL) Companhia Paranaense de Energia. *Projeção do Consumo de Energia no Paraná 1995-2000*, Curitiba, 1995.

(COPEL) Companhia Paranaense de Energia. *Relatório Anual de gestão e sustentabilidade 2008, item 5.11 - Energia*, disponível em:  
[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2008/\\$FILE/RelAnual08.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2008/$FILE/RelAnual08.pdf) , acesso em 11/2011.

(COPEL) Companhia Paranaense de Energia. *Sumário Executivo do Balanço Energético do Paraná 2010*. Disponível em:  
<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FC824D47B05308F650325740C00438020> .  
 acesso em 07/2012.

(EPE). Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2019. Empresa de Pesquisa Energética*. Brasília: MME : EPE, 2007. Disponível em <http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx> acesso em 05/2012.

(EPE). Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional - BEN. Empresa de Pesquisa Energética*. Brasília: MME : EPE, 2012. Disponível em:  
[http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%20E2%80%93%20BEN/Estudos\\_13.aspx](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%20E2%80%93%20BEN/Estudos_13.aspx). acesso em 03/2012.

(EIA) U.S Department of Energy. *Annual Energy Outlook 2012 with projections to 203*. U.S Energy Information Administration. DOE/EIA-0383(2012). June 2012.

(ECOPAR) V Encontro de Economia Paranaense. *O biodiesel no estado do Paraná: panorama, perspectivas e desafios 2007*. Disponível em:  
[http://www.ecopar.ufpr.br/artigos/a4\\_019.pdf](http://www.ecopar.ufpr.br/artigos/a4_019.pdf) , acesso em 05/2012.

(FNSE) Fórum Nacional de Secretários de Estado para Assuntos de Energia - *Descentralização e Participação, Planejamento e Gestão do Setor Energético Brasileiro*, 2010.

(FOKA) Foka, A. Time Series Prediction Using Evolving Polynomial Neural Networks. *Dissertation submitted to the University of Manchester Institute of Science and Technology for the degree of MSc.*, 1999. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/64105199/27/Mean-Absolute-Percent-Error-MAPE> acesso em 09/2011.

(GEMG) Governo do Estado de Minas Gerais. Universidade Federal de Itajubá *Matriz Energética do Estado de Minas Gerais 2007-2030. Sumário Executivo*, 2007.

(GERJ) Governo do Estado do Rio de Janeiro. *Matriz Energética do Estado de Rio de Janeiro 2008-2020*, 2009.

(GESP) Governo do Estado de São Paulo. *Matriz Energética do Estado de São Paulo 2008-2020*. 2008.

(GOV) – Presidência da República - Casa Civil – *LEI Nº 9.478, de 6 de Agosto de 1997*. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm) acesso: 04/2011.

(JEBA) Jebaraj S, Iniyar S. *A review of energy models. Renewable and sustainable energy reviews*, 2004.

(HAINOUN) Hainoun , A; Aldin, M. Seif; Almoustafa, F. *Formulating an optimal long-term energy supply strategy for Syria using MESSAGE model*. Energy Planning Group of Sírian's Atomic Energy Commission. *Energy Elsevier Journal Energy Policy* number 38 – 2010. Pag 1701–1714.

(IPARDES) – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - *Caderno Estatístico do Estado do Paraná*. Fevereiro de 2000. Disponível em: [http://www.ipardes.gov.br/anuario\\_2000/](http://www.ipardes.gov.br/anuario_2000/) acesso em 09/2011.

(IPARDES) – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - *Caderno Estatístico do Estado do Paraná*. Abril de 2006. Disponível em: [http://www.ipardes.gov.br/anuario\\_2006/](http://www.ipardes.gov.br/anuario_2006/) acesso em 09/2011.

(IPARDES) – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - *Caderno Estatístico do Estado do Paraná*. Maio de 2011 Disponível em: [http://www.ipardes.gov.br/anuario\\_2011/](http://www.ipardes.gov.br/anuario_2011/) acesso em 09/2011.

(IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Diretoria de Pesquisa. Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade 1980-2050 (revisão 2008)*. Rio de Janeiro 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasregionais/2009/>. acesso em 11/2011.

(IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Diretoria de Pesquisa, Departamento de Contas Nacionais, Contas Regionais do Brasil 1997 - 2009*. 2010. disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasregionais/2009/>. acesso em 11/2011.

(IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Diretoria de Pesquisa, Departamento de Contas Nacionais - Classificação Nacional de atividades Econômicas*. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/default.shtm>. acesso em 09/2011.

(LACTEC) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Eólica Camargo e Schubert. *Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná*. 2007. Disponível em: [http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2008/\\$FILE/RelAnual08.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/relatorio2008/$FILE/RelAnual08.pdf) . acesso em 08/2012.

(MME) Ministério de Minas e Energia – *Panorama Energético Brasileiro*. (Artigo publicado na revista *The Economist*). Março de 2008. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/Artigos/Panorama\\_energetico\\_brasileiro.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/Artigos/Panorama_energetico_brasileiro.pdf). acesso: 05/2011.

(MORAES) MORAES, G. I. *Energia e Sustentabilidade no Paraná: Cenários e Perspectivas 2007-2023*. 2005, 116f. Dissertação de Mestrado - Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

(MUNA) Munasinghe, M., and P. Meier. *Energy Policy Analysis and Modeling*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1993.

(PNE) - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2030*, disponível em: [http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Nacional%20de%20Energia%20E2%80%93%20PNE/Estudos\\_12.aspx?CategoriaID=346](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Nacional%20de%20Energia%20E2%80%93%20PNE/Estudos_12.aspx?CategoriaID=346), acesso: 05/2011.

(PNEF) – Plano Nacional de Eficiência Energética. *Premissas e Diretrizes Básicas*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>. acesso: 03/2012.

(POLIQUEZI) Poliquezi, A.; Unsihuay-Vila, C.. *Planejamento Energético Estadual: Importância e Desafios no Estado do Paraná*. In: VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012, Curitiba.

(SAMBO) Sambo, A. S; Garba, B; Zarma, I. H; Gaji, M.M. *Electricity Generation and the Present Challenges in the Nigerian Power Sector*. Energy Commission of Nigeria, Abuja-Nigeria 2007. Disponível em: <http://www.ffydd.org/documents/congresspapers/70.pdf>. acesso: 09/2012.

(SILVA) SILVA, M. V. A Eletrobrás de hoje e a Eletrobrás do futuro: *Construindo cenários institucionais e identificando novos negócios (2006 – 2030)*. 2007, 138f. Dissertação de Mestrado - EBAPE – Empresa Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2007.

(SWANSON) Swanson, David A; Tayman, Jeff; Bryan, T. M. MAPE-R: A Rescaled Measure of Accuracy for cross sectional forecast. 2010. Disponível em: <http://cssd.ucr.edu/Papers/PDFs/MAPER%20EMPIRICAL%20V24%20Swanson%20Tayman%20Bryan.pdf>. acesso em 09/2011.

(SESP) Secretaria de Estado de Energia de São Paulo. Governo do Estado do São Paulo. *Matriz Energética do Estado de São Paulo – Sumário Executivo 2011*. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/45.pdf> acesso: 03/2013.

(USP) Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE USP. Governo do Estado do Rio Grande do Norte 2007. *Relatório da Projeção da Matriz Energética do Estado do Rio Grande do Norte - 2030*. Disponível em: [http://www.forumdeenergia.com.br/nukleo/pub/projeto\\_matriz\\_energetica\\_rn.pdf](http://www.forumdeenergia.com.br/nukleo/pub/projeto_matriz_energetica_rn.pdf) acesso: 10/2012.

(UNSIHUAY) Unsihuay, Clodomiro Vila. *Planejamento Energético e as políticas públicas: Aspectos conceituais e metodológicos*. Livro Energias Renováveis – Políticas Públicas e Planejamento Energético – Núcleo de Pesquisa em Energia (UTFPR/COPEL/UFPR). Pag 27–47. 2013.

(WATTS) Watts, David; Martinez, J. Victor. *Energy Planning Using MESSAGE: The Effect of Large Energy Blocks in the Chilean System*. Sustainable Systems and Technology (ISSST), IEEE International Symposium, 17-19 Maio 2010. Pontificia Universidade Católica do Chile, 2010.

(WANG) Wang, Wen-Chuan; Chau, Kwok-Wing; Cheng, Chun-Tian. *A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series*. Journal of Hydrology, Vol. 374, No. 3-4, pp 294–306. 2009.

## APÊNDICE A – Avaliação de Sensibilidade Cenários Alternativos

### A.1 Projeções de demanda cenário alternativo

O cenário alternativo 02 foi desenhado apresentando os mesmo gráficos e indicadores de base anteriores, sendo que a formação deste cenário implica na consideração da evolução demográfica tal qual foi feita para o cenário de referência, visando principalmente observar as variações devidas às considerações do cenário alternativo apresentado na dissertação, em relação ao novo cenário, denominado de cenário alternativo 02.

TABELA 01A – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02

Demanda Final de Energia por Setor - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	5,893	7,098	7,972	8,941	10,013	11,197	12,232
Transportes	[Mtep]	5,365	6,042	7,228	8,201	9,424	10,811	12,004
Residencial	[Mtep]	2,171	2,373	2,521	2,638	2,782	2,916	3,186
Serviços	[Mtep]	3,203	3,644	4,244	4,825	5,495	6,253	7,107
Total	[Mtep]	16,633	19,158	21,965	24,604	27,714	31,177	34,529

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

O gráfico da Figura 01A apresenta os dados da tabela e representa graficamente os valores obtidos com relação às premissas de eficiência energética e demográficas citadas anteriormente.

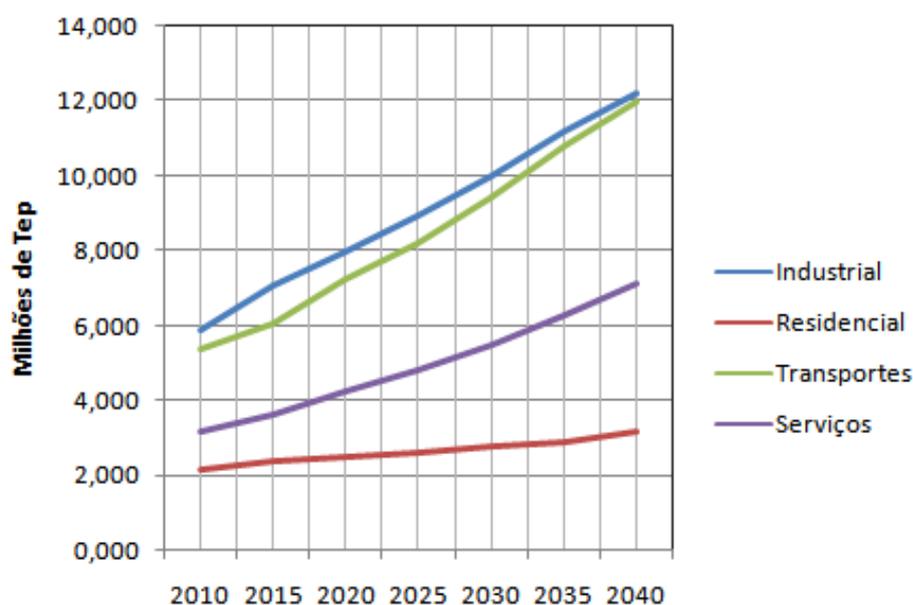


FIGURA 01A– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Para o cenário alternativo 02 é possível notar a aproximação entre o consumo total da indústria e do setor de transportes, também verificado no cenário alternativo, porém neste caso nota-se uma maior aproximação no longo

TABELA 02A – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO 02

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18,843	20,146	21,441	22,294	23,311	24,343	25,025
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1,517	1,493	1,462	1,399	1,346	1,294	1,224

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

prazo entre as demandas destes setores.

Neste cenário o consumo per capita de energia no longo prazo passa de 18,8 MWh para 25,5 MWh, sendo que no cenário alternativo esse valor no longo prazo foi de 30,3MWh. Ocorreu então uma variação perceptível da ordem de 4,8 MWh per capita entre os cenários, o que representa aproximadamente 18,8% de variação do consumo do cenário alternativo 2 em relação ao cenário 01 .

Já com relação à intensidade energética global no cenário alternativo 2, houve uma redução da ordem de 0,29 pontos no longo prazo, sendo que no cenário alternativo esta redução projetada foi de 0,33, representando uma variação da ordem de 2,25% entre os cenários no longo prazo, neste caso sendo o alternativo 2 menos eficiente em termos de consumo por unidade de PIB..

## A.2 - Projeções de demanda - Cenário Alternativo 02 Otimista

Para o cenário alternativo otimista foram adotadas as considerações previamente descritas no item 4.3.5, considerando obviamente a manutenção da taxa de crescimento demográfico conforme proposto para este cenário alternativo 02...

A Tabela 03A abaixo apresenta os resultados no longo prazo, devido a aplicação das considerações feitas.

TABELA 03A –PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 OTIMISTA

Demanda Final de Energia por Setor - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	5,893	7,416	8,700	10,192	11,922	13,924	15,887
Transportes	[Mtep]	5,365	6,217	7,680	8,999	10,687	12,689	14,686
Residencial	[Mtep]	2,171	2,373	2,521	2,638	2,782	2,916	3,186
serviços	[Mtep]	3,203	3,805	4,627	5,492	6,531	7,760	9,210
Total	[Mtep]	16,633	19,811	23,527	27,321	31,921	37,289	42,968

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

A Figura 02A abaixo apresenta os dados da Tabela anterior, e representa o comportamento gráfico do cenário alternativo 02 otimista no longo prazo,

Neste cenário observa-se um comportamento similar ao da consideração otimista para o cenário alternativo. Os setores mantêm as taxas de crescimento similares, no entanto no setor de transportes se nota uma sensibilidade maior à consideração da eficiência energética destacada da variação demográfica.

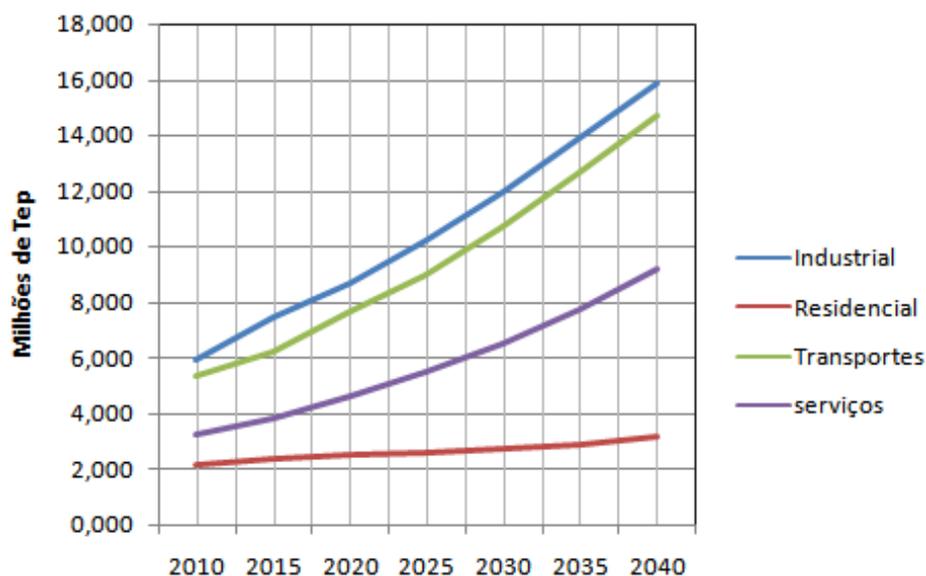


FIGURA 02A– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 OTIMISTA  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Neste caso o setor residencial apresentou a maior variação entre os setores, tendo sido então maior a percepção com cerca de 11% de aumento do consumo no longo prazo, frente ao cenário alternativo. Neste caso se pode concluir que as ações de eficiência energética são menos influentes que as variações demográficas, quando se refere ao setor residencial e sua parcela de consumo em condições econômicas favoráveis.

Idem aos cenários anteriores, as tabelas com indicadores kWh per PIB e o MWh per capita demonstram a evolução dos aspectos energéticos deste cenário.

TABELA 04A – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO 02 OTIMISTA

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18,843	20,833	22,966	24,756	26,850	29,114	31,142
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1,517	1,478	1,436	1,364	1,304	1,246	1,174

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

### A.3 - Projeções de demanda - Cenário Alternativo Pessimista

Neste cenário, assim como nos anteriores, as considerações são mais percebidas tendo em vista as condições econômicas em situação considerada pessimista, e se mantendo as taxas demográficas como citado.

A Tabela 05A abaixo apresenta os resultados no longo prazo, devido à aplicação das considerações feitas e das projeções realizadas pelo modelo.

TABELA 05A – PROJEÇÃO DA DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 PESSIMISTA

Demanda Final de Energia por Setor - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Industrial	[Mtep]	5,893	6,759	7,227	7,719	8,232	8,767	9,120
Transportes	[Mtep]	5,365	5,855	6,766	7,421	8,246	9,137	9,721
Residencial	[Mtep]	2,171	2,373	2,521	2,638	2,782	2,916	3,186
serviços	[Mtep]	3,203	3,472	3,853	4,173	4,529	4,911	5,317
Total	[Mtep]	16,633	18,459	20,367	21,950	23,789	25,731	27,345

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

Neste cenário também ocorre a influência das questões de eficiência energética associada ao baixo crescimento econômico, porém neste caso onde as taxas demográfica não influenciam, é possível notar mais fortemente a variação de consumo entre os setores mais afetados. Neste caso verifica-se influência direta principalmente com relação ao setor industrial, que passa a ter menos consumo que o setor de transportes já em 2030, sendo que no cenário

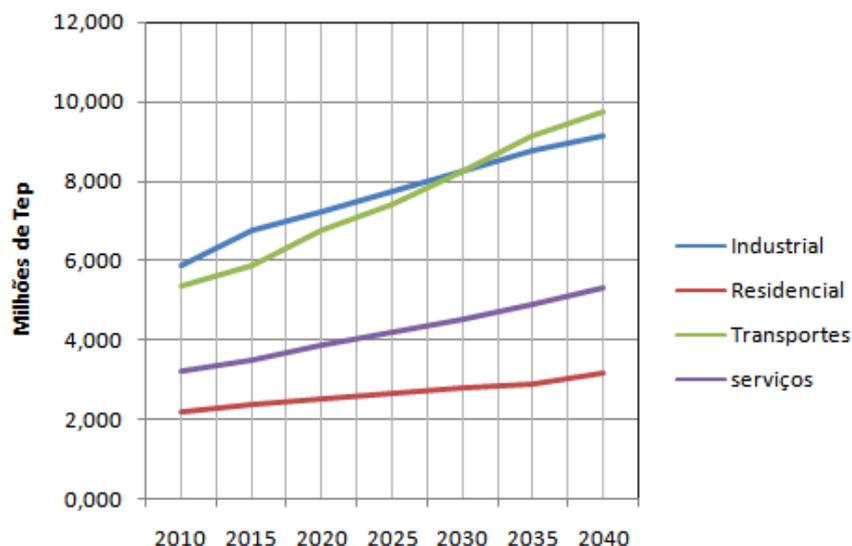


FIGURA 03A– DEMANDA LONGO PRAZO CENÁRIO ALTERNATIVO 02 PESSIMISTA  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

alternativo esta condição surge a partir de 2035.

Idem aos cenários anteriores, as tabelas com indicadores kWh per PIB e o MWh per capita demonstram a evolução dos aspectos de cenarização com relação ao impacto dos indicadores de consumo dos setores econômicos e da sociedade.

TABELA 06A – INDICADORES DE EVOLUÇÃO ENERGÉTICA CENÁRIO ALTERNATIVO 02 PESSIMISTA

Demanda Final de Energia per capita e por unidade do PIB - Alternativo								
Setor	Unit	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
MWh per capita	[MWh/cap]	18,843	19,411	19,881	19,890	20,009	20,090	19,819
KWh per PIB	[kWh/US\$]	1,517	1,510	1,494	1,445	1,404	1,362	1,298

FONTE: RESULTADOS A PARTIR DAS FORMULAÇÕES E DO MODELO MAED

#### A.4 – Avaliação da Sensibilidade entre Cenários Alternativos

As figuras 04A e 05A a seguir apresentam o desempenho dos indicadores de evolução apresentados para cada cenário , e permitem avaliar a variação entre os cenários ao longo do período analisado.

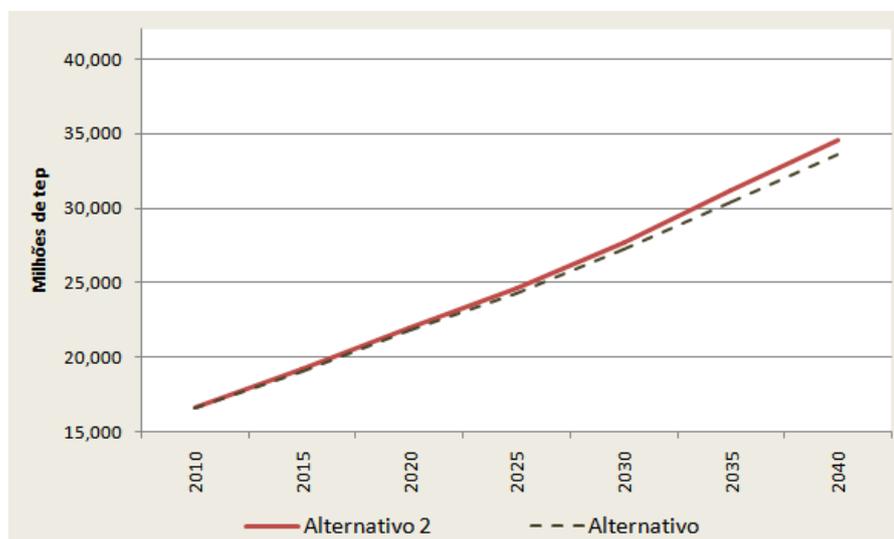


FIGURA 04A– EVOLUÇÃO DO CONSUMO PER CAPITA ENTRE CENÁRIOS  
FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

De acordo com o gráfico da figura 04A e dos valores apresentados nas tabelas, a variação entre os cenários representou algo em torno de 2,77%, considerando que no cenário alternativo 02 ocorreu uma perda de eficiência em relação ao cenário 01, sendo este o efeito direto das considerações demográficas.

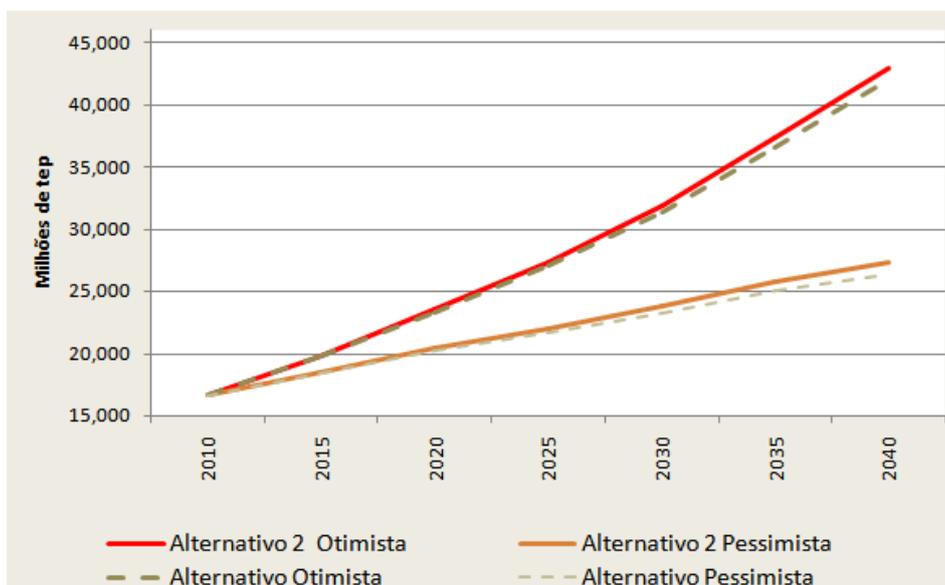


FIGURA 05A– EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGETICA GLOBAL ENTRE CENARIOS  
 FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS RESULTADOS

Com relação aos indicadores de intensidade energética global, o gráfico da figura anterior apresenta a tendência de separação entre os cenários otimista e pessimista, sendo que nota-se na curva a partir de meados de 2025, mas vem em constante crescente ao longo do período avaliado.

Neste gráfico é possível ainda verificar que para a situação otimista os cenários estão mais próximos em termos de intensidade energética, já no pessimista ocorre um afastamento maior, devido à influência direta das questões econômicas na formação do indicador. Nota-se também que as variações entre cenários não sofrem uma grande influência para este indicador, devido às considerações feitas do alternativo 02 em relação ao alternativo.

Com já citado anteriormente, as avaliações postas apresentam cenários frente às premissas adotadas para modelagem dos mesmos, sendo que cada setor percebe de forma diferente as variações, como pôde ser verificado.