



PERSPECTIVAS DE DEMANDA E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO SETOR ENERGÉTICO  
BRASILEIRO FACE ÀS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

Rodrigo Pacheco Ribas

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Rio de Janeiro  
Março de 2013

PERSPECTIVAS DE DEMANDA E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO SETOR ENERGÉTICO  
BRASILEIRO FACE ÀS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

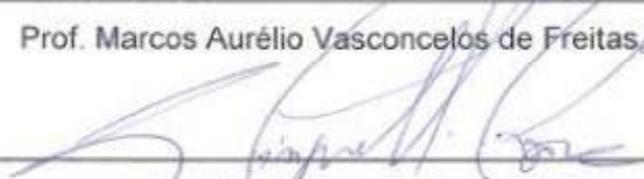
Rodrigo Pacheco Ribas

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM  
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

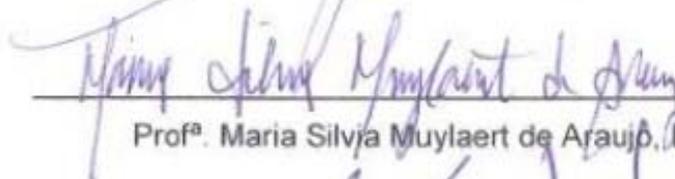
Examinada por:



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



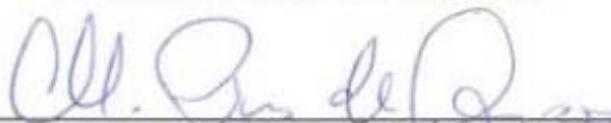
Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D. Sc.



Profª. Maria Silveira Muylaert de Araujo, D. Sc.



Prof. Neilon Fidelis da Silva, D. Sc.



Dr. Christiano Pires de Campos, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2013

Ribas, Rodrigo Pacheco

Perspectivas de demanda e emissões de CO<sub>2</sub> no setor energético brasileiro face às políticas de mitigação da mudança do clima / Rodrigo Pacheco Ribas. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XV, 202 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Tese (doutorado) – UFRJ / COPPE / Programa Planejamento Energético, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 185-199.

1. Mudanças Climáticas Globais. 2. Setor de Energia. 3. Políticas Nacionais de Mitigação de Gases de Efeito Estufa. I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

DEDICATÓRIA  
Dedico esta Tese a  
minha esposa, Djanira  
Schuller Ribas, aos  
meus pais, Marcos e  
Wírea Ribas, e a minha  
irmã Renata, que  
sempre acreditaram em  
minhas vitórias.

## AGRADECIMENTOS

O maior de todos os meus agradecimentos é a Deus, pelo Seu sustento nas horas de lutas e dificuldades, mas também por todas as dádivas preciosas que Ele tem derramado sobre a minha vida, mais especificamente ao longo dos anos em que cursei o doutorado. A Ele, dedico toda Honra e Glória por cada vitória.

A minha preciosa esposa, Djanira Ribas, agradeço pela compreensão, cumplicidade, orações, importantes palavras de incentivo, paciência na etapa final de tese e principalmente pelo amor e alegria que renovam e enriquecem a minha vida.

Aos meus pais - exemplos vivos - e irmã, um agradecimento todo especial por todo amor, carinho, orações, palavras de incentivo e dedicação em todos os sentidos, que têm sido fundamentais em minha vida e muito me ajudaram para superar os obstáculos do curso. Às minhas avós, tios e primos, pela torcida e carinho.

Ao meu professor orientador, Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, por todo auxílio, companheirismo, crédito e suporte no caminhar deste trabalho. Ao longo de minha trajetória, encontrei nele mais do que um professor, pesquisador e orientador, mas principalmente um amigo. Aos demais professores, especialmente Maria Silvia Muylaert, pelas preciosas conversas e compartilhamento de experiências.

Aos companheiros de labuta no Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, Bia, Veloni e Neilton, que sob muito trabalho (e descontração à parte) tem contribuído para compor a história da ciência e política do clima de nosso Brasil. Ao Christiano Pires, pelos bons debates (às vezes enigmáticos) que sempre contribuíram para o meu crescimento acadêmico. Agradeço a amizade e paciência de todos vocês!

Aos colegas do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG/Coppe/UFRJ), tanto os que por lá passaram quanto os que ainda lá estão, um agradecimento todo especial e... *toquem firme!*

Aos queridos amigos, Luiz Antônio, Fabiana Kessler, Seu José (*in memorian*), Dona Lourdes e Cinara de Oliveira... vocês sempre estarão no coração. Às amigas construídas e fortalecidas ao longo do doutorado, Bianca Nunes, Carlos Pacheco, Daniel Stilpen, Marcelo Cavalcanti e Raquel Souza, pelos estímulos ao longo de todo o curso, principalmente pela união em torno do *qualify*.

Por fim, agradeço à ANP, CAPES e CNPq pelos respectivos suportes em linhas distintas de formação e pesquisa, bem como ao Cenpes/PETROBRAS, cujo apoio e projeto foram fundamentais para a inspiração e constituição deste trabalho.

*O temor do SENHOR é o princípio da sabedoria; bom entendimento possuem todos os que cumprem os seus mandamentos; o seu louvor permanece para sempre. (Salmos 111:10)*

*Então vi toda a obra de Deus, que o homem não pode perceber, a obra que se faz debaixo do sol, por mais que trabalhe o homem para a descobrir, não a achará; e, ainda que diga o sábio que a conhece, nem por isso a poderá compreender. (Eclesiastes 8:17)*

*Bendito o homem que confia no Senhor, e cuja esperança é o seu Deus. (Jeremias 17:7)*

*Digno és, Senhor, de receber glória, e honra, e poder; porque tu criaste todas as coisas, e por tua vontade são e foram criadas. (Apocalipse 4:11)*

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

PERSPECTIVAS DE DEMANDA E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO SETOR ENERGÉTICO  
BRASILEIRO FACE ÀS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

Rodrigo Pacheco Ribas

Março/ 2013

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Planejamento Energético

O presente estudo, objetiva quantificar projeções de demanda de combustíveis fósseis e respectivas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) por seu consumo no Brasil, sendo resultante de pesquisas desenvolvidas a partir da cooperação técnica entre a Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras) e o Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG/Coppe/UFRJ), ao realizar estimativas utilizando o *Java Climate Model* (JCM), procura-se avaliar os potenciais impactos e perspectivas para o setor de energia face ao compromisso voluntário assumido pelo Brasil perante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), com a promulgação de lei estipulando metas de redução de emissões de GEE para 2020. Desta forma, foram elaborados cenários de emissões até 2035 consoante o principal dentre os GEE, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a partir de dados do *World Energy Outlook 2010*, da *International Energy Agency* (IEA), do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) / Ministério de Minas e Energia (MME).

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

PROSPECTS OF DEMAND AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS OF BRAZILIAN ENERGY  
SECTOR AGAINST CLIMATE CHANGE MITIGATION POLICIES

Rodrigo Pacheco Ribas

March / 2013

Advisor: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Energy Planning Program

This study aims to quantify the fossil fuels demand projections and their respective Greenhouse Gas Emissions (GHG) by fossil fuels consumption in Brazil. And this report is the result of the work undertaken by technical cooperation between the Brazilian Oil Company (Petrobras) and the International Virtual Institute of Global Change (IVIG/Coppe/UFRJ). As using the Java Climate Model (JCM) to perform the estimations, this study seeks to evaluate the potentials impacts and perspectives for the energy sector in contrast to the Brazilian voluntary commitment accepted before United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). The Brazilian commitment previsions the promulgation of the law that stipulates reduction goals for GHG emissions to 2020. Thus, emission scenarios were developed up to 2035 according to the main greenhouse gases, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), considering data from: the World Energy Outlook 2010, the International Energy Agency (IEA), the Second National Inventory of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions, the Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI), the Ten Year Plan for Energy Expansion (PDE) and the Energy Research Company (EPE) / Ministry of Mines and Energy (MME).

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CENÁRIOS DE EMISSÕES DO IPCC.....</b>	<b>7</b>
2.1. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) .....	8
2.2. Cenários de emissões do IPCC.....	12
2.3. Características dos cenários SRES.....	27
2.4. Modelos dos Cenários SRES .....	47
2.5. O Java Climate Model (JCM).....	58
<b>3. DEMANDA DE COMBUSTÍVEIS E CENÁRIOS DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> – ABORDAGEM TOP-DOWN.....</b>	<b>60</b>
3.1 Emissões de CO <sub>2</sub> relativas a combustíveis fósseis entre 1990 e 2008 no Brasil, constantes no banco de dados CDIAC inseridos no <i>Java Climate         Model (JCM)</i> .....	61
3.2. Comparação entre os dados de emissões brasileiras do CDIAC e do Segundo Inventário Brasileiro (disponível para os anos de 1990 a 2005).....	64
3.3. O Balanço Energético Nacional: estrutura, classificação das fontes de energia e estimativa das respectivas emissões de GEE em 1990 e 2005 .....	71
3.4. Comparação das emissões de combustíveis fósseis pelos Inventários Brasileiros, Balanço Energético Nacional e CDIAC .....	87
3.5 Projeções das emissões do Brasil em 2005 pelo Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE.....	90
<b>4. COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE CENÁRIOS DE DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL PARA 2030 .....</b>	<b>102</b>
4.1. Projeções dos cenários SRES BR pelo JCM.....	102
4.2. Projeções do <i>International Energy Outlook 2011 (IEO2011)</i> .....	108
4.3. Comparação das projeções de emissões de CO <sub>2</sub> do SRES BR com o cenário de referência do IEO2011 / EIA .....	114
4.4. Projeções de emissões dos Cenários Alternativos do IEO2011 / EIA.....	119

4.5. Projeções do World Energy Outlook 2012 (WEO2012) da International Energy Agency (IEA) .....	121
4.6. Projeções do Plano Nacional de Energia - 2030 (PNE-2030) .....	131
4.6.1. Comparação das projeções de emissões de CO <sub>2</sub> pelo SRES BR com os dados de referência do Plano Nacional de Energia.....	135
4.6.2. Projeção das emissões brasileiras de CO <sub>2</sub> conforme dados do Cenário de Referência do Plano Nacional de Energia .....	139
<b>5. COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> PARA O BRASIL.....</b>	<b>150</b>
5.1. Cenários SRES BR de mitigação (B2 e A1FI) .....	150
5.2. Comparação das projeções de emissões de CO <sub>2</sub> de Cenários SRES BR de mitigação (B2 e A1FI) com os cenários de mitigação do IEA (Cenário Novas Políticas e 450ppm).....	156
5.3. Estimativas de abatimento das emissões de CO <sub>2</sub> relacionadas ao Setor Energia no Brasil até 2020 .....	160
5.4. Comparação dos cenários de mitigação de emissões brasileiras de CO <sub>2</sub> pelo JCM BR B2 e A1F (2°C e 450ppm) e da IEA (Novas Políticas e 450ppm) com o do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) .....	171
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>178</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>185</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Apresentação do layout da árvore de seleção do Java Climate Model 5 com sequência de seleções.....	93
Figura 2: Apresentação do layout da árvore de seleção do Java Climate Model 5 com sequência de seleções / 450ppm .....	152
Figura 3: Apresentação do layout da árvore de seleção do Java Climate Model 5 com sequência de seleções / 2°C .....	153

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais características e diferenças entre os três conjuntos de cenários de emissões de GEE do IPCC .....	21
Tabela 2: Taxa de crescimento econômico global (% a.a.) segundo famílias de cenários SRES (períodos de 1950 a 1990 / 1990 a 2050 / 1990 a 2100) .....	41
Tabela 3: Taxa de crescimento da renda <i>per capita</i> (% a.a.) segundo famílias de cenários SRES (períodos de 1950 a 1990 / 1990 a 2050 / 1990 a 2100) .....	41
Tabela 4: Nível das melhorias tecnológicas de extração, distribuição e conversão de energia assumidas para os cenários SRES.....	44
Tabela 5: Modelos para o desenvolvimento dos 40 cenários SRES de emissão .....	52
Tabela 6: Desagregação Regional dos seis modelos SRES .....	56
Tabela 7: Relação dos gases tratados segundo modelos e macro-regiões SRES .....	57
Tabela 8: Emissões anuais de dióxido de carbono (GgCO <sub>2</sub> ) relativas a Combustíveis Fósseis no Brasil segundo os bancos de dados CDIAC e JCM .....	63
Tabela 9: Emissões de dióxido de carbono (em GgCO <sub>2</sub> ) por combustível segundo os anos de abordagem de cada Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE .....	68
Tabela 10: Distribuição (%) e variação (%) das emissões de dióxido de carbono (em GgCO <sub>2</sub> ) por combustível segundo os anos de abordagem de cada Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE .....	69
Tabela 11: Saldo e variação (%) das emissões de combustíveis fósseis (GgCO <sub>2</sub> ) por anos comparáveis do 1º e 2º Inventário Brasileiro de Emissões de GEE .....	70
Tabela 12: Classificação das Fontes Primárias e Secundárias .....	72
Tabela 13: Comparação entre terminologias dos combustíveis adotados no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e no Balanço Energético Nacional, ano base 2011 .....	74
Tabela 14: Fatores considerados nos cálculos de emissões.....	80
Tabela 15: Fatores considerados nos cálculos de emissões.....	84
Tabela 16: Estimativas de emissão de GgCO <sub>2</sub> pelas Fontes de Energia Primária e Secundária segundo setores de consumo em 1990 .....	85
Tabela 17: Estimativas de emissão de GgCO <sub>2</sub> pelas Fontes de Energia Primária e Secundária segundo setores de consumo em 2005 .....	86
Tabela 18: Comparação das emissões de GgCO <sub>2</sub> segundo combustíveis a partir dos Inventários Brasileiros, Balanço Energético Nacional e Base CDIAC .....	89
Tabela 19: Variação (%) entre as emissões de GgCO <sub>2</sub> dos Inventários Brasileiros e do Balanço Energético Nacional frente às emissões brasileiras da Base CDIAC.....	90
Tabela 20: Projeções JCM para as emissões de CO <sub>2</sub> associadas a combustíveis fósseis.....	94

Tabela 21: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário Brasileiro e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário B2 .....	96
Tabela 22: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário Brasileiro e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário A1FI.....	97
Tabela 23: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Balanço Energético Nacional e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário B2 .....	98
Tabela 24: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Balanço Energético Nacional e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário A1FI.....	99
Tabela 25: Saldo e evolução (%) total das projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário e do Balanço Energético Nacional / Cenários B2 e A1FI (2005 -2030).....	101
Tabela 26: Projeções de emissões brasileiras de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis com base no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE .....	104
Tabela 27: Projeções de emissões brasileiras de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis com base no Primeiro e Segundo Inventários Brasileiros de Emissões de GEE entre 1994 e 2030 .....	107
Tabela 28: Estimativa da demanda brasileira por energéticos selecionados segundo o Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030 .....	140
Tabela 29: Estimativa da demanda brasileira total de energéticos em 10 <sup>3</sup> tep médio segundo o Cenário de Referência do PNE (2000 - 2030) .....	141
Tabela 30: Estimativa da evolução da demanda total de energéticos em 10 <sup>3</sup> TEP médio no Brasil segundo o Cenário de Referência do PNE (Cenário de Referência do PNE) entre 2000 e 2030 - Exercício B.....	143
Tabela 31: Estimativa das emissões em GgC segundo a demanda brasileira total de energéticos pelo Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030 .....	144
Tabela 32: Estimativa das emissões de carbono oxidado (em GgC) segundo a demanda total brasileira de energéticos pelo Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030 .....	145
Tabela 33: Estimativa das emissões de GgCO <sub>2</sub> segundo a demanda brasileira total de energéticos pelo Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030 .....	146
Tabela 34: Comparação entre cenários de Referência e de Mitigação da mesma família (B2 ou A1FI) segundo projeções de emissões entre 2015 e 2030 .....	155
Tabela 35: Cenário de crescimento econômico e demográfico brasileiro.....	164
Tabela 36: Emissões brasileiras de GEE devidas à produção e ao uso da energia para 1994 e 2005 ( <i>dados preliminares do Segundo Inventário Brasileiro</i> ).....	165
Tabela 37: Ações para mitigação das emissões brasileiras de energia até 2020.....	167

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Ilustração das alternativas de formulação de cenários.....	13
Gráfico 2: Suposições correspondentes às projeções de futuro associadas aos cenários SRES.....	22
Gráfico 3: Projeção da variação anual da intensidade energética e de carbono segundo cenários SRES e ESD (1990-2100).....	25
Gráfico 4: Esquema simplificado das quatro famílias de cenários SRES .....	30
Gráfico 5: Organograma das quatro <i>storylines</i> do SRES e respectivas famílias de cenários .....	32
Gráfico 6: Perspectivas de população segundo cenários SRES .....	38
Gráfico 7: Emissões globais de CO <sub>2</sub> relacionadas do setor de energia e indústria conforme os cenários SRES .....	46
Gráfico 8: Projeções SRES BR (B2 e A1FI) de emissões em GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis a partir do JCM e Segundo Inventário Brasileiro de Emissões entre 2005 e 2030 .....	105
Gráfico 9: Projeções de emissões em GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis a partir do SRES BR (cenários B2 e A1FI), do Primeiro e Segundo Inventários Brasileiros de Emissões entre 2005 e 2030 .....	107
Gráfico 10: Consumo mundial de energia por combustível (1990-2035).....	112
Gráfico 11: Emissões (GgCO <sub>2</sub> ) associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do SRES BR (B2 e A1FI) e do IEO2011 / EIA (Cenário de Referência) entre 2005 e 2035.....	116
Gráfico 12: Emissões de CO <sub>2</sub> associadas ao consumo brasileiro de combustíveis líquidos, gás natural e carvão segundo projeções do U.S. Energy Information Administration - EIA (Cenários de Referência) entre 2005 e 2035 .....	117
Gráfico 13: Produção de líquidos convencionais por região não-OPEP, 2007 e 2035 (milhões de barris por dia).....	118
Gráfico 14: Emissões brasileiras (GgCO <sub>2</sub> ) associadas ao consumo de combustíveis segundo projeções do IEO2011/ EIA (Cenário de Referência e Cenários Alternativos) entre 2008 e 2035 .....	120
Gráfico 15: Distribuição (%) dos maiores importadores de carvão no comércio global pelo Cenário Novas Políticas (1990 – 2035) .....	124
Gráfico 16: Projeção da redução de emissões de PgCO <sub>2</sub> a partir de uma maior utilização de energias renováveis, em relação ao mix de combustíveis no Cenário Novas Políticas em 2010 (2010-2035) .....	125
Gráfico 17: Emissões de PgCO <sub>2</sub> relacionadas com energia no Cenário Políticas Atuais por combustível e região entre 1980 e 2030.....	126
Gráfico 18: Demanda por energia primária (Mt) Não-OCDE no Cenário Novas Políticas segundo região entre 1990 e 2035 .....	127

Gráfico 19: Incremento médio anual das emissões de TgCO <sub>2</sub> (Mt) relacionadas com energia no Cenário Políticas Atuais segundo região (1980 – 2030).....	128
Gráfico 20: Evolução das Emissões de TgCO <sub>2</sub> no Brasil segundo algumas fontes de energia entre 2005 e 2030 .....	136
Gráfico 21: Estimativa das Emissões de TgCO <sub>2</sub> no Brasil segundo algumas fontes de energia para o ano de 2030 .....	138
Gráfico 22: Comparação das emissões de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do SRES BR (B2 e A1FI) e do Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030 .....	148
Gráfico 23: Comparação das emissões de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do SRES BR (B2 e A1FI) e demais Cenários de Referência entre 2000 e 2030 .....	149
Gráfico 24: Emissões brasileiras de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis segundo cenários de mitigação do JCM BR (B2 e A1FI / 2°C e 450ppm) entre 2005 e 2035 .....	155
Gráfico 25: Emissões de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções de mitigação do JCM BR (B2 e A1FI) e da IEA (Cenário de Novas Políticas e Cenário 450ppm)* entre 2005 e 2035.....	159
Gráfico 26: Emissões brasileiras de CO <sub>2</sub> eq até 2005 com base no 2º Inventário Brasileiro e as projeções para 2020 apresentadas no Decreto nº 7.390/2010...	168
Gráfico 27: Emissões brasileiras de GgCO <sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis segundo projeções do JCM BR (B2 / 2°C e 450ppm & A1F 2°C e 450ppm), da IEA (Cenário de Novas Políticas e Cenário 450) e do 2º Inventário Brasileiro de Emissões de GEE / Plano Decenal de Energia (Cenário INV - PDE Ações de Mitigação) entre 2000 e 2030 .....	173
Gráfico 28: Emissões brasileiras de GgCO <sub>2</sub> eq associadas ao consumo do setor energia segundo projeções do SRES BR (B2 Energia & A1F Energia) e do 2º Inventário Brasileiro de Emissões de GEE / Plano Decenal de Energia (Cenário INV - PDE Ações de Mitigação) entre 2000 e 2030 .....	177

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas revelam-se na atualidade como o resultado mais grave do paradoxo entre, por um lado, a necessidade de se atingir níveis sempre maiores de crescimento econômico e, por outro, a de se manter as condições elementares à vida na Terra. Neste contexto, a elevação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) revela a inter-relação entre atividade produtiva, contribuição para o problema ambiental global e desenvolvimento econômico, tema este objeto de estudos variados e discussões de ordem política que têm permeado as negociações climáticas envolvendo grande maioria dos países e diversos atores.

Agravado pelo processo de industrialização iniciado com a Revolução Industrial em meados do século XIX e intensificado a partir da segunda metade do século XX elevou-se significativamente a demanda por energia à base de combustíveis fósseis, fazendo com que as reservas de carvão e petróleo fossem exploradas de forma sistemática e crescente por todo o mundo. Esta industrialização, por sua vez, pauta-se pela combinação entre ciências, tecnologias avançadas e grandes investimentos econômicos. Tanto o mercado quanto o padrão de consumo, na sua forma atual, são resultados consistentes do desenvolvimento do sistema capitalista, que, por sua vez, baseia-se na busca pela maximização do consumo e da produção.

No entanto, pela sociedade industrial se agravaria sobremaneira a ação do homem no meio ambiente, alterando o clima da Terra pelo aumento das emissões de gases precursores do efeito estufa oriunda principalmente da queima de combustíveis fósseis, liberando carbono extra e aumentando a concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera por extrapolar a capacidade de reciclagem dos ciclos biogeoquímicos naturais.

No centro desta discussão encontra-se o Setor de Energia, e mais especificamente as Indústrias que possuem como *core business* a exploração, produção e comercialização de combustíveis fósseis, a exemplo do petróleo, gás natural e do carvão mineral. Estas indústrias figuram como importantes demandantes de recursos e grandes emissores globais de GEE. Isto porque, o aumento das emissões antropogênicas é resultante, sobretudo, de fatores como desmatamento e queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural), estes considerados os principais responsáveis em nível global pelo aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono.

Na maior parte do último século, crescer dependendo do petróleo era quase universalmente considerado uma vantagem, um símbolo do progresso humano (YERGIN, 1993). Porém, mediante as evidências das mudanças climáticas e com o aumento da consciência social e do movimento ecológico, os princípios da sociedade industrial passariam a ser confrontados, e a Indústria de Óleo & Gás, convidada a se posicionar no meio da discussão.

Isto porque, se trata de uma das indústrias mais poluentes da história do mundo civilizado, que agora, passa a ser questionada não somente pela poluição local que tanto aflige os moradores metropolitanos de todo o mundo, mas também pela poluição global, capaz de interferir na natureza de uma forma nunca vista antes. O petróleo, que tanto contribuiu para moldar a vida do homem moderno, agora passa a ser acusado por ter importante participação no processo de degradação ambiental, conseqüentemente, do próprio homem. Por outro lado, o gás natural (não-associado), embora fóssil, tem sido bem visto para geração de eletricidade, justamente por substituir o carvão mineral, mais emissor de CO<sub>2</sub>, enxofre e particulados.

O debate sobre esta problemática tem repercutido em discussões com relação ao estabelecimento de instrumentos de mitigação e adaptação as suas causas e efeitos. No plano internacional tem ganhado magnitude e conduzido a discussões internacionais impulsionadas a partir da Conferência da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992 no Rio de Janeiro, levando vários países a firmarem um acordo internacional em prol da estabilização das concentrações de carbono na atmosfera. Um dos principais caminhos para se cumprir as metas de emissões acordadas na Conferência consiste justamente na substituição progressiva do petróleo e carvão por fontes renováveis e menos poluidoras, o que interferirá diretamente nos padrões de consumo.

O Brasil historicamente vem fazendo sua parte no combate à mudança do clima, e está preparado para manter o protagonismo no contexto do esforço global para enfrentar o problema. O Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92) realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992. A Convenção-Quadro é considerada um dos instrumentos multilaterais mais equilibrados, universais e relevantes da atualidade, tendo sido ratificado pelo Congresso Nacional em 1994.

A mais recente e uma das mais eficazes iniciativas do Brasil nesse campo foi a definição da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída por meio da

Lei 12.187/09. Os compromissos nacionais voluntários incorporados a ela haviam sido anunciados pelo presidente da República em Copenhague, durante a 15<sup>a</sup> Conferência das Partes da Convenção sobre Mudança do Clima (COP 15). De acordo com a lei, o Brasil adotará ações voluntárias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas a reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020, com base nos valores de 2005. A lei estabelece ainda que essa projeção, assim como o detalhamento das ações para alcançar o objetivo de mitigação, terão por base o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, o qual é parte principal desta Segunda Comunicação Nacional (MCTI, 2010).

Neste ambiente de discussões e implementações de políticas assumindo como pano de fundo a mitigação e adaptação à mudança do clima fica cada vez mais evidente a questão de como se comportará a demanda e oferta de combustíveis fósseis, tendo em vista que o futuro guarda muitos desafios para uma sociedade que se pauta na dependência de recursos energéticos em suas mais variadas formas. Neste ínterim, torna-se relevante projetar o futuro na tentativa de se antever ao ambiente de grandes transformações que o mundo contemporâneo reserva.

Este trabalho teve como motivação um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento (PETROBRAS, 2008; 2011) resultante de cooperação técnica firmada entre a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), por meio do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), e a COPPE/UFRJ<sup>1</sup>, representada pelo Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG). Intenta primeiramente quantificar as projeções de demanda de combustíveis fósseis e respectivas emissões de GEE por seu consumo no Brasil. Ao realizar estimativas utilizando o *Java Climate Model* (JCM), modelo desenvolvido pelo climatologista britânico Ben Matthews (MATTHEWS, 2011), procura-se avaliar os potenciais impactos e perspectivas para o setor de energia face ao compromisso voluntário assumido pelo Brasil perante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), com a promulgação de lei estipulando metas de redução de emissões de GEE para 2020.

A avaliação e resultados do *downscale* dos cenários de emissões, contemplando o Setor de Energia no Brasil foram realizados a partir do modelo JCM consoante o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gás de efeito estufa no âmbito do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (em inglês, *Intergovernmental*

---

<sup>1</sup> Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), também designada de “Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia”, em homenagem ao renomado engenheiro que a fundou no ano de 1963.

*Panel on Climate Change - IPCC*), da ONU. O modelo climático JCM tem por objetivo fazer projeções quanto à evolução futura de impactos do efeito estufa, tais como a temperatura média global e a temperatura dos oceanos, em função de cenários hipotéticos de desenvolvimento econômico, de crescimento populacional e de políticas de mitigação, com as evoluções correlatas nas emissões de GEE. Entre suas características, ele permite variações nos cenários e objetivos a serem atingidos, incorporando nos seus cálculos as emissões resultantes da queima de combustíveis, de mudanças no uso da terra e da agropecuária, tratando também de outros gases estufa.

Os dados do Brasil foram projetados para 2030 utilizando-se o JCM e assumindo-se dois cenários do *Special Report Emissions Scenarios* do IPCC (SRES IPCC), o A1FI e o B2, cenários que se consubstanciaram nas melhores configurações de futuro que se conforma com as previsões de crescimento e curso de desenvolvimento do Brasil. Isto levando em consideração o comportamento das curvas de projeção da Região ALM (África, América Latina e Oriente Médio), na qual o Brasil se insere.

O conjunto de cenários de emissões do SRES avaliam diferentes estágios de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, contribuindo na compreensão das interligações entre qualidade ambiental e opções de desenvolvimento, constituindo-se em um importante instrumento para especialistas, pesquisadores e formuladores de políticas sobre as tendências de emissão de GEE.

O cenário A1FI (intensivo em combustível fóssil) faz considerações sobre a evolução tecnológica no uso de energia em um mundo globalizado, com a hipótese de que o crescimento global repousará fortemente no consumo de combustíveis fósseis, sendo, portanto, o cenário em que as emissões tendem a crescer mais. Já o cenário B2 (ênfase à proteção ambiental) descreve um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, considerando o aumento contínuo da população global, níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida do que no contexto da família A1. Por este cenário estar orientado para a proteção ambiental e a equidade social, com foco em níveis local/regional e crescimento econômico moderado, implica em um crescimento menor das emissões de gases estufa.

Uma vez que os cenários considerados e aplicados no JCM seguem os parâmetros do SRES IPCC com relação à reunião de países em grandes regiões, as projeções para 2030 resultariam, inevitavelmente, em emissões diferentes das

projeções feitas para o caso brasileiro separadamente. Isso porque estas emissões acompanharam o comportamento da média da Região ALM, configurando-se esta num denominador comum de diferentes países.

As emissões projetadas para o Brasil, designadas de Cenários “SRES BR”, devem ser, portanto, comparadas com projeções realizadas por outros institutos de pesquisa para o caso específico do Brasil e que consideram políticas nacionais ou internacionais de redução de emissão de GEE até 2030, de modo a se verificar o *quantum* das diferenças ou similaridades destas projeções para aquelas a partir do SRES BR. Desta forma, esta análise vai além de uma comparação entre os resultados dos “Cenários SRES BR” com estudos que utilizam hipóteses “*business as usual*” (BAU) ou Cenários de Referência, uma vez que consideram políticas de baixo carbono ou propostas explícitas de desenvolvimento associado a políticas nacionais ou internacionais de mitigação, com ou sem metas específicas.

O trabalho apresenta no segundo capítulo, uma abordagem sobre os cenários do IPCC, apresentando as características e peculiaridades dos cenários SRES de emissões de CO<sub>2</sub>, bem como uma apresentação do modelo climático JCM.

Coube ao terceiro capítulo comparar os resultados de cenários de demanda de energia utilizando-se como base a metodologia desenvolvida no Projeto IVIG/Petrobras (PETROBRAS, 2008; 2011), valendo-se de análise *top-down* a partir do SRES com os resultados aferidos pelos dois Inventários Brasileiros de Emissões de GEE, pelo Balanço Energético Nacional e por estudos de demanda energética de derivados de petróleo e gás natural, assim como de combustíveis fósseis sólidos, projetados para 2030 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008).

Estas comparações foram realizadas com o modelo JCM frente aos resultados do *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC), bem como do Balanço Energético Nacional e do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE, sendo feita a avaliação e detalhamento da metodologia e resultados do *downscale* dos cenários de emissões, a partir do Java Climate Model (JCM) consoante o dióxido de carbono, destacados como principal GEE no âmbito do IPCC.

O capítulo quatro consolida a comparação entre os resultados dos cenários de demanda de energia no Brasil confrontando projeções das principais instituições internacionais de pesquisa em energia tais como U.S. Energy Information Administration (EIA) e International Energy Agency (IEA), com as duas principais fontes de dados brasileiras, os próprios Inventários Brasileiros de Emissões e o Balanço Energético Nacional. Foram elaborados cenários de emissões para o dióxido

de carbono (CO<sub>2</sub>) até 2030, a partir dos bancos de dados existentes nas respectivas instituições de pesquisa do Brasil no presente.

Esses dados do Brasil também foram projetados para 2030 utilizando-se o JCM (Java Climate Model) e dois cenários do SRES IPCC, o A1FI e o B2, levando em consideração o comportamento das curvas de projeção da Região ALM (América Latina, África e Oriente Médio), na qual o Brasil pertence. Todos os cálculos realizados para as comparações neste capítulo foram feitos aplicando-se o JCM através de hipóteses “business as usual” (BAU) ou Cenários de Referência. Ou seja, são as projeções que não têm pressuposição de políticas nacionais ou internacionais de redução de emissão de GEE até 2030.

Já o quinto capítulo, diferentemente do anterior, trata especificamente dos cenários de mitigação até 2030 por metodologia *bottom-up*, contemplando na análise os cenários de mitigação do IEA (“Cenários Novas Políticas” e “Cenários 450ppm”) e o cenário de mitigação baseado nas medidas de redução de emissões de GEE constantes do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE / EPE).

O capítulo seis apresenta as conclusões e o capítulo sete, as referências bibliográficas.

## 2. CENÁRIOS DE EMISSÕES DO IPCC

*“Nossa tecnologia passou a frente de nosso entendimento, e a nossa inteligência desenvolveu-se mais do que a nossa sabedoria”. (Roger Revelle)*

O aumento das emissões de GEE desconsidera a inter-relação entre atividade produtiva, desenvolvimento econômico e contribuição para o problema ambiental global. As mudanças climáticas revelam-se como o resultado mais expressivo do paradoxo entre a necessidade capitalista de se atingir níveis sempre maiores de crescimento econômico e a de se manter as condições elementares à vida na Terra. Neste sentido, o estudo objetiva neste capítulo, avaliar a efetivação dos acordos firmados e o posicionamento da Indústria do Petróleo face ao cumprimento dos termos do Protocolo de Kyoto.

Para KLABIN (2000) “o excesso de emissão de gases de efeito estufa e os efeitos ecológicos decorrentes das mudanças climáticas ultrapassam a conceituação técnico-científica em direção ao território da práxis política e econômica, apresentando-se como o vetor mais importante para a modelagem dos instrumentos que deverão compor a matriz econômica do planeta e dos países no século XXI. Constata-se, dessa maneira, que o fenômeno de emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa provocarão pensamentos estratégicos diferenciados na elaboração de políticas, com reflexos acentuados nas economias dos diversos países”.

O combate ao aquecimento global não é um desafio a curto ou médio prazo. Dadas as características do fenômeno, seu tratamento exige uma soma continuada de esforços no tempo. Requer múltiplas articulações políticas e medidas, sobre a base do desenvolvimento de uma estrita cooperação internacional que permita definir uma resposta global a um problema de escala planetária (URQUÍA, 2005).

## 2.1. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC)

A partir de 1988 se principiou a etapa que mais simboliza a inserção das discussões climáticas no cenário internacional, tanto que o tema virou uma preocupação política à parte, com os governantes começando a desenvolver suas posições singulares e a se reunirem para tratar de questões relacionadas (DENIS, 2003). Neste mesmo ano, os avanços na direção da formalização da investigação científica e a progressiva politização das questões referentes às mudanças climáticas ganharam forte impulso com a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC*).

Resultado de ações conjuntas por parte da Secretaria Geral da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e da Direção Executiva do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), ambos os órgãos pertencentes à ONU, tendo em vista a necessidade de dispor de uma valoração científica, objetiva, equilibrada e internacionalmente coordenada, visando um melhor conhecimento da incidência dos gases-estufa no clima terrestre, bem como de seus impactos e potenciais consequências das alterações climáticas para as economias nacionais.

O IPCC consiste em um comitê científico no âmbito das Nações Unidas aberto à representação de todos os países membros da OMM / ONU. O grupo de especialistas do IPCC atua em regime de cooperação, sistematizando o conhecimento e contribuindo de forma consensual para o debate sobre o tema no mundo. Contudo, não realiza novas investigações, nem controla os dados relacionados com o clima, sendo a sua função é a de avaliar de forma exaustiva, objetiva e transparente, as informações científicas, técnicas e sócio-econômicas sobre as mudanças climáticas que se difundem ao nível mundial em publicações diversas aprovadas por outros especialistas no tema (SUERDIECK 2002; URQUÍA, 2005; CANTARINO, 2007; IPCC, 2012<sup>2</sup>).

Uma das principais atividades do IPCC é justamente a de realizar uma avaliação periódica dos conhecimentos sobre a mudança do clima, fornecendo subsídios para a condução das negociações no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC) e prestando assessoria nos aspectos técnicos, científicos e socioeconômicos à Conferência das Partes da UNFCCC. Assume também um papel de referência na formação da opinião pública internacional sobre a questão da mudança climática (SEQUINEL, 2002; VIOLA, 2003).

---

<sup>2</sup> Disponível em <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml#.UQ25RqWgZug>

Segundo SUERDIECK (2002), “o IPCC foi encarregado de institucionalizar o debate mundial sobre o problema, realizando estudos [...] e promovendo conferências mundiais sobre o clima para subsidiar as negociações de um tratado mundial sobre mudanças climáticas”. URQUÍA (2005) enfatiza que, “com o passar dos anos, é patente que a criação deste Grupo foi uma decisão sumariamente acertada, pois o trabalho desenvolvido pelo IPCC tem sido crucial para o processo de luta frente às mudanças climáticas”.

Como produto desta avaliação periódica, são publicados relatórios e documentação técnica sobre temas considerados importantes para informação, bem como a estruturação e refinamento de metodologias de cálculos de emissões de GEE a serem aplicadas em inventários nacionais, cuja realização é compromisso assumido pelas Partes junto à UNFCCC.

O IPCC é formado por três grupos de trabalhos (GTs) principais e um grupo especial:

- ⇒ **GT I:** avalia os **aspectos científicos** das mudanças climáticas, GEE e aerossóis, processos e modelos, variações climáticas, e a detecção do efeito estufa nas observações apresentadas;
- ⇒ **GT II:** avalia o **impacto** e a **vulnerabilidade** socioeconômica e natural dos sistemas (consequências positivas e negativas), bem como as opções de adaptação;
- ⇒ **GT III:** avalia possibilidades de **mitigação**, através da redução das emissões de GEE, e institui subgrupos de trabalho de definição de estratégias de mitigação em energia, indústria, agricultura, silvicultura e outras atividades humanas.
- ⇒ **Grupo Especial:** encarregado, dentre outros atributos, do Programa do IPCC sobre inventários nacionais de emissões de GEE.

O IPCC, dentre diversos relatórios especiais, documentos técnicos e guias metodológicos, publicou quatro Relatórios de Avaliação que reúnem os conhecimentos mais avançados na matéria e procuram oferecer uma posição equilibrada entre os distintos pontos de vista e as políticas correspondentes, mas não recomendam, nem prescrevem políticas específicas. Estes relatórios especificamente constituem as contribuições mais relevantes do Grupo de Especialistas e tem tido uma influência notória no processo de negociação internacional. Conforme MARENGO (2006), “os relatórios dos GTs constituem uma [importante] avaliação do estado-da-arte em

pesquisas de clima, detecção de mudanças climáticas, atribuição de causas físicas, assim como das incertezas das previsões para os diferentes cenários climáticos”.

O Primeiro Relatório de Avaliação (*First Assessment Report - FAR*), publicado em 1990, ao concluir que as mudanças climáticas representavam efetivamente uma ameaça à humanidade e que as negociações para a adoção de um tratado deveriam ser iniciadas, propiciou a decisão dos governos de elaborar um convênio internacional, contribuindo com a OMM e o Pnuma, para início das negociações para a Convenção Quadro sobre as Alterações Climáticas, subscrita no Rio de Janeiro em 1992. Seguidamente teve lugar a Conferência das Partes. O Segundo Relatório de Avaliação (*Second Assessment Report - SAR*), adotado em 1995 e publicado em 1996, facilitou as negociações do Protocolo de Kyoto e da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC).

O Terceiro Relatório (*Third Assessment Report, TAR*), concluído em 2001, implicou em importante estímulo para o alcance do Acordo Político de Bonn e nos Acordos de Marrakech sobre as regras de aplicação do Protocolo, além de promover uma maior avaliação sobre a qualidade científica e técnica dos aspectos ambientais, sociais e econômicos da mitigação e vulnerabilidade climática, com ênfase em questões regionais, setoriais e intersetoriais (SEQUINEL, 2002; URQUÍA, 2005).

O Quarto Relatório (*Fourth Assessment Report - AR4*) foi lançado em dezembro de 2007, dando especial atenção a alguns temas transversais como desenvolvimento sustentável, tratamento da água, tecnologia, integração regional, mitigação e adaptação. Em sequência a uma maior preocupação quanto à qualidade das informações, já evidenciada no TAR, este relatório procurou zelar por um maior detalhamento e acurácia no tratamento e detalhamento dos dados, bem como por uma maior sofisticação dos modelos aplicados à simulação dos processos físicos envolvidos na mudança do clima (OLIVEIRA, 2008). De todo modo, estes Relatórios de Avaliação têm obtido progressiva influência no processo de negociação internacional contribuindo, sobretudo, com subsídios às deliberações das Conferências das Partes da UNFCCC.

Além destes há os Relatórios Especiais, sujeitos ao mesmo processo de revisão escrita e aprovação dos Relatórios de Avaliação, e que abordam temas específicos como a aviação, os impactos regionais da mudança climática, a transferência de tecnologia, energias renováveis, a mudança do uso da terra e florestas, a captura e o armazenamento de dióxido de carbono e sobre cenários de emissões, este último de interesse direto ao estudo proposto.

Cabe frisar que o IPCC não é um órgão independente do ponto de vista científico, não realizando pesquisa ou gerando ciência por conta própria, nem mesmo controla dados relativos ao clima ou outros parâmetros afins. Os trabalhos em torno do IPCC consistem na reunião permanente do que há de melhor e mais avançado no tema de mudanças do clima consoante a dados, informações e experimentos de instituições renomadas de pesquisa em todo o mundo baseando-se na respectiva literatura técnico-científica, devidamente revisada, comprovada e publicada.

Contanto que os Relatórios de Avaliação do IPCC são publicados esporadicamente, com um intervalo de 4 a 6 anos, exigindo grande esforço científico e mobilizando significativo número de especialistas em cada um de seus três grupos de trabalho principais. A título de exemplo, o mais recente Relatório de Avaliação (AR4, de 2007) contou com 3.750 especialistas procedentes de 130 países, que atuaram em três frentes para a construção do documento: 450 autores principais elaboraram o estudo, outros 800 autores atuaram como colaboradores e 2.500 especialistas revisores forneceram mais de 90.000 comentários durante a etapa de revisão (IPCC, 2012)<sup>3</sup>.

Não obstante, como afirmam GRUBB, VROLIJK e BRACK (1999), o funcionamento do IPCC revela um delicado equilíbrio entre a coerção dos estados por controle ou influência, e os requerimentos da atividade e credibilidade científicas. DENIS (2003) enfatiza que o IPCC “detém o monopólio do legítimo discurso científico [consoante ao tema], assumindo o papel de centralizador e formalizador das interações entre o campo científico e o político, ocorrendo [em seu pleito] considerações políticas e manifestações de estratégias individuais [de Estados], muitas traduzindo divergências de sensibilidade e de interesses”.

---

<sup>3</sup> Disponível em :[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data.shtml#.UQ2-uKWgZug](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml#.UQ2-uKWgZug)

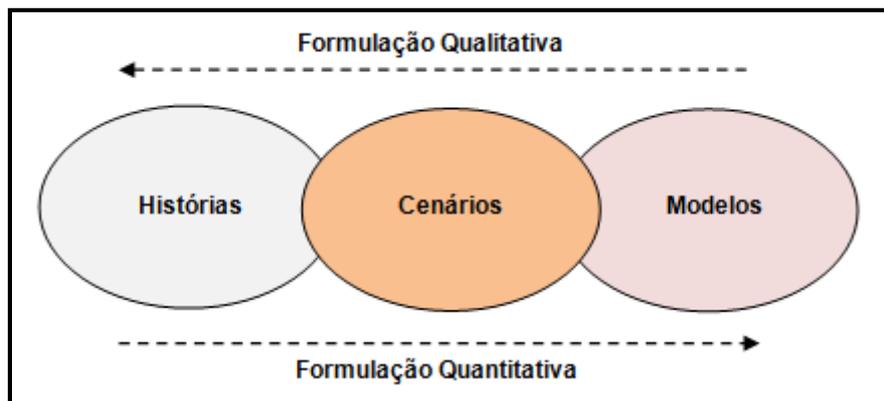
## 2.2. Cenários de emissões do IPCC

O IPCC tem se valido de projeções de emissões de GEE e cenários climáticos, como um dos componentes principais para orientar a avaliação e pesquisa sobre a ciência das mudanças climáticas globais, bem como para mobilizar discussões e tomadas de decisão principalmente por parte de governos, visando a aplicação de políticas de adaptação e de mitigação que contribuam em alguma medida para uma reorientação do nível de emissões e concentração atmosférica de substâncias que detêm um efeito radiativo potencial – GEE e aerossóis. (GIROD *et al*, 2009; CIESIN, 2012).

Os cenários climáticos são imagens alternativas de como o futuro (do clima global) poderá se desdobrar e traduzem-se em uma ferramenta apropriada para analisar como forças motrizes - tais como, crescimento demográfico, desenvolvimento socioeconômico, mudanças tecnológicas e ambientais, assim como suas interações - podem influenciar no resultado de emissões futuras e na avaliação de incertezas associadas. Em estudos científicos, os cenários são geralmente formulados com a ajuda de modelos numéricos ou analíticos formais, estando baseados em um conjunto consistente e reprodutível de hipóteses ou teorias sobre as relações-chave e forças motrizes promotoras de mudanças. De modo geral, podem auxiliar nas análises de mudanças climáticas, incluindo modelagem do clima e avaliação de impactos, adaptação e mitigação aos seus efeitos (NAKICENOVIC *et al*, 2000).

JEFFERSON (1983) avalia que os cenários são ferramentas úteis para avaliações científicas, para entender o comportamento de sistemas complexos e para auxiliar na formulação de políticas. Também podem ser entendidos como uma ferramenta que integra narrativas qualitativas ou histórias sobre o futuro com formulações quantitativas baseadas em modelos formais (DAVIS, 1999). Da mesma forma, os cenários SRES envolvem componentes qualitativos e quantitativos, sendo compostos de uma parte narrativa chamada de "histórias de futuro" e um número de cenários quantitativos correspondentes para cada uma destas "histórias". O Gráfico 1 ilustra a interrelação das alternativas de formulação dos cenários SRES a partir de histórias narrativas e modelos quantitativos formais.

**Gráfico 1: Ilustração das alternativas de formulação de cenários**



Fonte: Baseado em SRES (2000).

As ferramentas comumente adotadas para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras são os modelos climáticos, usados como ferramentas para estimativas de futuras mudanças do clima como consequência de futuros cenários de forçamentos climáticos (GEE e aerossóis). Os modelos climáticos são baseados em estabelecidos princípios da física e têm sido utilizados para reproduzir observações características do clima do passado e alterações do clima no presente.

Estes modelos numéricos podem ser Globais Atmosféricos, Globais Oceânicos ou Circulação Geral Oceano-Atmosfera. Provêm de uma visão tridimensional do sistema climático, descrevendo os principais processos físicos e dinâmicos, assim como as interações entre as componentes do sistema climático e os mecanismos de retro-alimentação (*feedbacks*) entre os processos físicos. Tais modelos podem simular climas futuros em nível global e regional como resposta a mudanças na concentração de GEE e de aerossóis (MARENGO, 2006).

Na simulação de projeções climáticas, o IPCC utilizou os Modelos Acoplados de Circulação Geral Oceano-Atmosfera (em inglês, *Atmosphere-Ocean General Circulation Models* - AOGCMs), possibilitando estimativas sofisticadas sobre o futuro do clima. RANDALL & WOOD (2007) afirmam existir uma considerável confiança de que estes modelos forneçam estimativas quantitativas de alterações do clima futuro em escalas maiores, particularmente a nível continental.

O significativo avanço do TAR para o AR4 é, em parte, resultado do grande número de simulações disponíveis de diversos AOGCMs feitas por várias instituições onde foram rodados<sup>4</sup>. Juntamente com as observações, essas simulações forneceram

<sup>4</sup> Nas simulações do IPCC, para fins de estudos auxiliares do IPCC-TAR, foram utilizados ao todo 23 modelos AOGCMs. Estes foram rodados pelos centros mundiais de meteorologia da Europa, Japão,

uma base quantitativa para estimar probabilidades sobre diversos aspectos das mudanças futuras no clima. Mesmo que ainda estejam em desenvolvimento, estes modelos representam na atualidade o que há de mais complexo em modelagem climática, sendo as únicas ferramentas capazes de possibilitar previsões regionais com relação às mudanças do clima. (IPCC, 2007; CCSP, 2008; SALES, 2011).

Contudo, mesmo os modelos mais sofisticados refletem representações aproximadas de um sistema bastante complexo, de forma que ainda não são infalíveis na previsão do clima futuro. Isto porque, existe um grau de incerteza quanto ao futuro cenário climático do planeta, devendo-se principalmente às diferenças observadas nas saídas dos diferentes modelos climáticos usados nas projeções para o século XXI pelo TAR do IPCC, mesmo porque qualquer cenário inclui necessariamente elementos subjetivos e é aberto a variadas interpretações. MARENGO (2006) destaca algumas fontes de incerteza na modelagem climática na obtenção de projeções em nível global ou regional na atual geração de modelos utilizados pelo IPCC, dentre as quais:

- Incerteza nas emissões futuras de GEE e aerossóis, atividades vulcânica e solar que afetam o forçamento radiativo do sistema climático;
- Incerteza na inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico nas plantas, e do efeito de comportamento das plantas no clima futuro;
- Incertezas na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos. Isto é devido às diferentes formas em que cada AOGCM representa os processos físicos e os mecanismos do sistema climático. Cada AOGCM simula um clima global e regional com algumas diferenças nas variáveis climáticas como temperatura do ar, chuva, nebulosidade e circulação atmosférica.
- Incerteza em relação à variabilidade natural do clima, em que parte desta variabilidade é consequência de perturbações internas do sistema climático (não forçadas pelos GEE);
- Incerteza associada à poluição atmosférica e liberação de GEE devido ao desenvolvimento industrial em muitos países do mundo. Em nível regional, a

---

Austrália e Estados Unidos, dentre os quais pode-se destacar: Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra / Modelo HadCM3; Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, da Austrália / Modelo CSIRO-Mk2; Canadian Center for Climate Modeling and Analysis, do Canadá / Modelo CCCMA; National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA-Geophysical Fluids Dynamic Laboratory, dos Estados Unidos / Modelo GFDL-CM2; Center for Climate Studies and Research CCSR - National Institute for Environmental Studies NIES, do Japão / Modelo CCSR-NIES (MARENGO, 2006; RANDALL & WOOD, 2007).

seleção de cenários considera forçamentos externos como variações na atividade solar ou atividade vulcânica.

Por outro lado, uma vez que as informações geradas pelos modelos globais são de baixa resolução espacial e pelos modelos AOGCM ainda não conseguem representar bem as mudanças no clima ou nível de concentração de GEE em caráter local, faz-se necessária a utilização da técnica de *downscaling*, consistindo-se na regionalização ou adaptação dos cenários climáticos obtidos por modelos globais usando modelos regionais. Uma possibilidade é a adoção da técnica de *downscaling* dinâmico ou funções estatísticas, com dados gerados pelos AOCGCMs servindo de condição inicial e de fronteira para modelos regionais, cuja resolução é tipicamente mais detalhada. (GIORGI *et al.*, 2001; GIORGI & MEARNS, 2003; JONES *et al.*, 2004; MARENGO, 2006).

O *Scientific Assessment 90* (SA90) foi o primeiro conjunto de cenários de longo prazo desenvolvido pelo IPCC, tendo como objetivo subsidiar modelos de circulação global e servir de guia para o desenvolvimento de análises dos possíveis impactos das mudanças climáticas e alternativas de mitigação. Era composto por quatro cenários de emissão e teve também o propósito de contribuir com o primeiro Relatório de Avaliação do Painel, o FAR.

Estes primeiros cenários globais foram aperfeiçoados após dois anos, tendo sido desenvolvido outro conjunto de cenários de emissão, o *IPCC Scenarios 92* (IS92). Estes foram aplicados em avaliações de impacto e adaptação depois do FAR sendo, porém, publicados em seu relatório suplementar e utilizados também no segundo Relatório de Avaliação (SAR), em 1996 (vide LEGGETT *et al.*, 1992). O IS92 reuniu seis cenários alternativos que aperfeiçoavam os cenários do SA90, incorporando pressupostos para as emissões de gases estufa considerando a ausência de políticas climáticas - cenários *business as usual* (BAU), além das já aplicadas IPCC-TGICA, 2007; SALES, 2011)

Em 1994, o IPCC implementou uma reavaliação dos cenários IS92, considerando que o conhecimento científico sobre as mudanças climáticas, de seus efeitos e das estimativas sobre emissões futuras de GEE tinham avançado<sup>5</sup>. Assim, o

---

<sup>5</sup> Devido a esses avanços, a revisão dos cenários IS92 pelo IPCC concluiu que os novos cenários a serem desenvolvidos deveriam incluir as seguintes melhorias (PARIKH, 1992; ALCAMO *et al.*, 1995; SRES, 2000): estimativa de linhas de base de emissões e futuro das emissões de outros GEE afora o CO<sub>2</sub>, especialmente quanto ao uso da terra; incorporação das mais recentes informações sobre a reestruturação econômica em todo o mundo; ampliação do leque de trajetórias de desenvolvimento econômico, incluindo uma redução da diferença de renda entre os países em desenvolvimento e os industrializados; examinar diferentes tendências e taxas de mudança tecnológica; avaliar as possíveis consequências do comércio, liberalização do mercado e a privatização, e refletir os compromissos atuais de emissões em conexão com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

Painel decidiu em sua Sessão Plenária de setembro 1996, na Cidade do México, iniciar o desenvolvimento de um novo grupo de cenários de emissões para subsidiar o seu Terceiro Relatório de Avaliação (TAR). Este novo conjunto de cenários surgiria a partir da necessidade de inserção de recentes e significativas mudanças no entendimento sobre as forças motrizes das emissões e das metodologias utilizadas. Tais mudanças se referenciavam, por exemplo, à intensidade de carbono da oferta energética, à desigualdade de renda entre países desenvolvidos e em desenvolvimento e à emissão de enxofre.

Em 2000, o IPCC apresentaria estes novos cenários de emissões globais por meio do *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES), designados de “Cenários SRES”, os quais são de uso mais amplo que os cenários do IS92 por contemplarem emissões idealizadas e hipóteses de concentrações, além de fornecerem subsídios para a avaliação não apenas das consequências climáticas e ambientais de emissões de GEE, mas também da adoção de estratégias e alternativas de mitigação e adaptação.

O advento da avaliação integrada (em inglês, *integrated assessment* - IA) de modelos também tornou possível a construção de cenários de emissões consistentes considerando em conjunto as interações entre o uso de energia, a economia e mudança do uso da terra. Alguns modelos de IA contam com interações em ambos os sentidos entre as forças motrizes das emissões de GEE e possíveis impactos das mudanças climáticas. O progresso também tem sido feito em conseguir uma maior coerência entre as características do cenário, como as taxas de mudança tecnológica em diferentes setores.

Embora nenhum cenário seja livre de quantificação, muitas vezes é útil distinguir entre cenários normativos e descritivos. Cenários normativos são tecnológicos e baseados em valores, explorando os caminhos para desfechos desejados e indesejados (utopias ou distopias). Já os cenários descritivos são evolutivos e abertos, explorando caminhos para o futuro. Os cenários SRES são descritivos e não assumem direções “desejáveis” ou “indesejáveis”. Eles são construídos como descrições de um desenvolvimento possível, ao invés do preferido, representando alternativas de futuro que sejam pertinentes e plausíveis. Pertinência esta que deriva da necessidade de os tomadores de decisão e modeleiros em

---

(UNFCCC, 1997). Contudo, tal como previsto pelos termos de referência do SRES, os seus cenários explicitamente excluíram destas iniciativas adicionais, medidas e políticas especificamente concebidas para redução das mudanças climáticas.

mudança do clima, formarem a base para avaliação das trajetórias possíveis das emissões de GEE, bem como as possíveis estratégias de resposta.

Na reavaliação dos cenários de emissões IS92, implementada pelo IPCC em 1994, foram identificadas quatro principais atribuições para a utilização de cenários, das quais os cenários SRES apenas não objetivaram atender à segunda (ALCAMO *et al*, 1995):

1. Fornecer subsídios para avaliação das conseqüências climáticas e ambientais visando alternativas às futuras emissões de GEE na ausência de medidas concretas de redução destas emissões ou aumento de sumidouros;
2. Fornecer dados para formulação de políticas específicas de intervenção visando à redução das emissões de GEE e aumento de sumidouros;
3. Fornecer subsídios para avaliação de possibilidades de mitigação e adaptação, e seus custos, em diferentes regiões e setores econômicos;
4. Contribuir para as negociações de possíveis acordos para redução das emissões de GEE.

Por não incluírem qualquer política ou medida adicional explícita de redução das emissões de GEE ou aumento de sumidouros, os cenários SRES não podem ser diretamente aplicados ao segundo propósito, mas poderiam ser utilizados como casos de referência para a introdução de políticas específicas de intervenção e ações em um novo modelo que compartilha das mesmas especificações e inclui outras forças motrizes que influenciam o futuro das emissões. No entanto, as emissões dos cenários SRES incluem uma série de outras políticas e medidas que não são direcionadas à redução das emissões de GEE e aumento de sumidouros, mas que, no entanto, têm um efeito indireto sobre as emissões futuras. Como exemplo, políticas voltadas para uma maior proteção do meio ambiente ou substituição de fontes fósseis por fontes renováveis de energia podem levar à redução das emissões de GEE.

Os três objetivos gerais supracitados, inerentes aos cenários SRES, também se destinam a atender as necessidades específicas dos três principais Grupos de Trabalho do IPCC:

- Grupo de Trabalho I, que inclui modelos climáticos que precisam de trajetórias de emissões futuras de GEE e aerossóis como entradas para os Modelos Gerais de Clima (GCMs) usados para o desenvolvimento dos cenários de mudanças do clima;

- Grupo de Trabalho II, que analisa os impactos do clima, a vulnerabilidade e medidas de adaptação, precisando primeiro dos cenários de mudanças climáticas produzidos por modeladores do GT-I. Em segundo lugar, os especialistas deste grupo precisam conhecer as mudanças sócio-econômicas associadas aos cenários de emissões específicos, dado que os impactos das mudanças climáticas sobre ecossistemas e populações dependem de muitos fatores. Entre estes estão se as populações são numerosas ou não, ricas ou pobres, livres para se locomoverem ou relativamente isoladas, incluídas ou excluídas do comércio mundial de alimentos, tecnologias, etc;
- Grupo de Trabalho III, que analisa as políticas potenciais de mitigação às mudanças do clima, também precisa conhecer as configurações sócio-econômicas uma vez que estas podem significar entraves às opções de políticas que são avaliadas. Ou seja, precisa-se diagnosticar se os mercados são abertos ou protegidos, se as opções tecnológicas e recursos econômicos são abundantes ou escassos, se as populações são vulneráveis ou adaptáveis, etc.

Os interesses desses três grupos de trabalho geram certos pré-requisitos que os cenários SRES procuram atender. Por exemplo, modelos climáticos e especialistas que analisam os impactos do clima precisam de cenários com alcance de 100 anos por conta do longo tempo de resposta demandado pelo sistema climático. Ao mesmo tempo, a análise de políticas de adaptação tende a se concentrar no médio prazo, em torno de 20 a 50 anos. Ou seja, estes cenários tentam incluir informações suficientes e detalhes específicos que possam ser úteis aos trabalhos desenvolvidos por esses grupos.

Neste sentido, os cenários SRES incluem linhas de base aperfeiçoadas de emissões de GEE, além de informações atualizadas sobre a reestruturação econômica dos países, suas principais taxas/indicadores de crescimento e tendências de mudança de ordem tecnológica, contribuindo para o desenvolvimento econômico por diferentes caminhos, incluindo a diminuição das diferenças de renda entre países desenvolvidos e os em desenvolvimento. Estes cenários de emissões têm sido amplamente utilizados como base para diversos estudos científicos.

Não obstante, novos cenários de emissões que devem estar disponíveis antes do 5º Relatório de Avaliação, que está programado para ser finalizado em 2014.

A respeito da evolução dos cenários pelo IPCC, GIROD *et al* (2009) destaca que podem ser observadas quatro alterações principais na estrutura dos três conjuntos já produzidos pelo IPCC. Primeiro, o número de cenários foi sendo acrescentado: SA90 (quatro cenários) => IS92 (seis cenários) => SRES (quarenta cenários, sendo seis ilustrativos). Em segundo lugar, a estrutura dos espectros de cenários, considerando-se a trajetória de desenvolvimento das projeções de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente, mudou a partir de duas trajetórias principais de emissões, com uma compreendendo cenários mais baixos de emissões (SA90) para uma trajetória central de emissões com cenários espectrais (IS92) e, finalmente, para o cruzamento ou correlação das trajetórias de emissão no caso da série SRES.

Em se considerando as seis variáveis chaves destes cenários, duas outras importantes mudanças foram observadas. Enquanto a projeção do Produto Interno Bruto (PIB) aumentou do SA90 para o IS92, sendo depois reduzida no SRES, a taxa de descarbonização diminuiu do SA90 para a IS92 e, em seguida, aumentou na série SRES. Estas alterações encontram-se explicitadas na tabela 1.

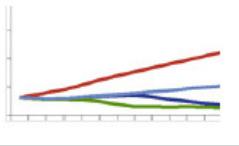
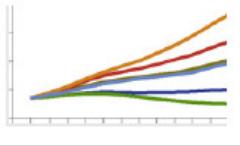
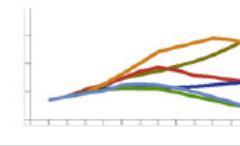
Na avaliação comparativa destas variáveis entre as três séries de cenários do IPCC, os autores aplicaram em nível global a identidade Kaya, que foi proposta pelo economista japonês, especializado em energia, Yoshi Kaya. Esta identidade, apresentada no esquema a seguir, foi adotada pelo IPCC para analisar os componentes chaves dos cenários de emissões do IS92 (ALCAMO *et al.*, 1995), assim como do SRES (IPCC, 2000a):

$$\text{Emissões de CO}_2 = \text{População} \times \underbrace{\left(\frac{\text{PIB}}{\text{População}}\right)}_{\text{Renda}} \times \underbrace{\left(\frac{\text{Uso de Energia}}{\text{PIB}}\right)}_{\text{Intensidade Energética}} \times \underbrace{\left(\frac{\text{Emissões de CO}_2}{\text{Uso de Energia}}\right)}_{\text{Intensidade de Carbono}}$$

Tal como no SRES, o PIB foi mensurado em dólares nos valores e taxa de câmbio em dólares de 1990 (US\$ 1990). Para o uso de energia, foi considerado o total do consumo primário de energia em Joule (J), e para as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foram considerados emissões de carbono no uso da energia em gramas de carbono (gC). A harmonização destas variáveis para os cenários estabelecidos na literatura publicada foram providas pela Base de dados dos Cenários de Emissões (ESD) – apresentada mais adiante, produzida para comparar os cenários SRES com aqueles encontrados na literatura (MORITA, 1999). Quatro principais mudanças na descrição dos cenários podem ser identificadas nos resultados

apresentados na tabela 1: (1ª) comparando-se os títulos e as descrições das intervenções características das séries de cenários de emissão, repara-se que elas passaram de um simples cenário BAU e um número de cenários de intervenção (SA90), para uma série de cenários de base de não intervenção, que é a série SRES; (2ª) os implícitos e explícitos eixos de histórias de futuro das séries de cenários mudaram de um mix de energia e eficiência (SA90), para população, renda e fontes de combustíveis fósseis (IS92), e finalmente para os explícitos eixos de histórias de futuro “global x regional” e econômico x ambiental” (série SRES); (3ª) a comparação descritiva das características prováveis revelaram que o cenário SA90 foi considerado como uma predição enquanto que o IS92 e o SRES rejeitam predições e adotam o termo “projeções”. No entanto, dois cenários da série IS92 (IS92a,b) foram apresentados como atualizações do anterior SA90-BAU (IPCC, 1992b); (4ª) as séries de cenários do IPCC tem comunicado cada vez menos sobre as implicações climáticas das trajetórias das emissões, de forma que o SRES não apresenta informação sobre consequências.

**Tabela 1: Principais características e diferenças entre os três conjuntos de cenários de emissões de GEE do IPCC**

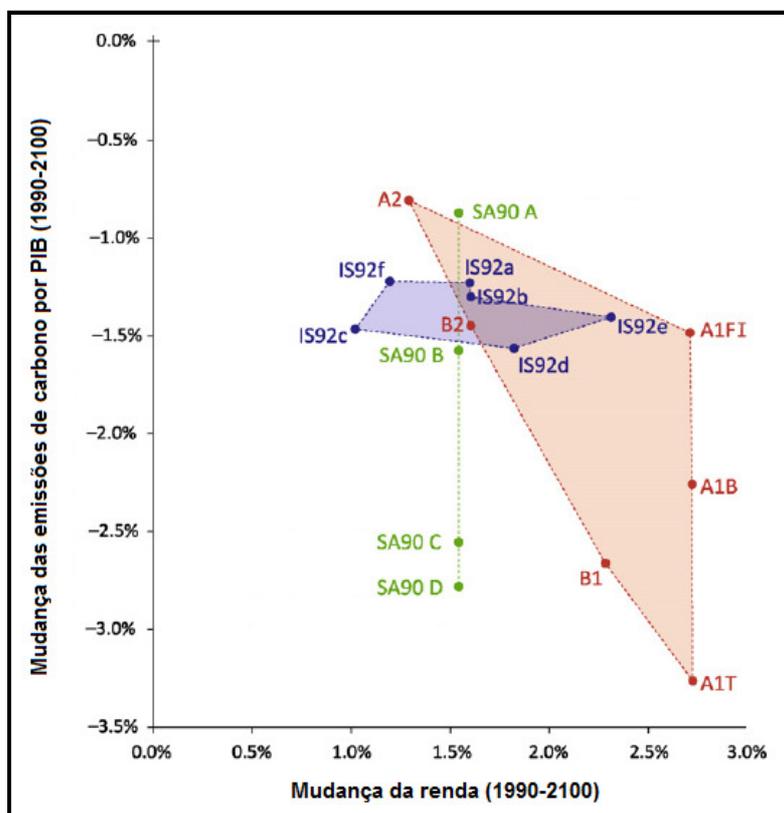
Aspectos	Cenários do IPCC		
	SA90	IS92	SRES
Títulos dos cenários	Cenário A (BAU), B, C, D.	IS92 a-f	A1B, A1T, A1FI, A2, B1, B2
Número de cenários	4 cenários, sendo 1 sem intervenção (BAU).	6 cenários, sendo 5 sem intervenção (BAU).	40 cenários com 6 ilustrativos. Todos sem intervenção (BAU).
Proposições implícitas e explícitas	Mix de fornecimento de energia e eficiência (p. xxxiv)	População, crescimento da renda e fontes de combustíveis fósseis (p.11, tabela 1).	História de futuro: “regional x global”, “econômico x ambiental” (p. 4, Box SPM / Summary for Policymakers – Work Group 1)
Implicações dos cenários	Mudança de temperatura comunicada com os cenários de emissões (p. xi)	Mudança de temperatura comunicada no próprio relatório (p. 18, Fig. 2)	Sem implicações comunicadas no SRES. Implicações comunicadas no TAR.
Representação gráfica dos cenários (baseados nas projeções de emissões de CO <sub>2</sub> de 1990 a 2100)			
<b>Projeções das variáveis chaves</b> (unidades)	<b>Escala das projeções</b> (taxa percentual de crescimento anual entre 1990-2100)		
População ativa	0,7	0,2 – 1,1	0,3 – 1,0
Renda (US\$ 1990)	1,5	1 – 2,3	1,3 – 2,7
PIB (US\$ 1990)	2,2	1,2 – 3	2,2 – 3,0
Intensidade energética (J/US\$ 1990)	-1 a -1,6	-0,8 a -1,2	-0,8 a -2,2
Intensidade de carbono (gC/J)	0,1 a -1,2	-0,2 a -0,7	0,0 a -1,9
Emissão de CO <sub>2</sub> (gC)	1,3 a -0,6	1,6 a -0,25	1,5 a -0,3

Fonte: GIROD *et al* (2009). Vide também Houghton *et al* (1990), Houghton *et al* (1992) e Nakicenovic (2000).  
Nota: O cenário IS92b é uma modificação do cenário IS92a baseado no pressuposto de que os compromissos assumidos pelos países membros da OCDE tem um pequeno impacto sobre as emissões de GEE nas próximas décadas. Portanto, os cenários IS92 possuem, de fato, cinco diferentes cenários de não intervenção (BAU).

Outro ponto a destacar é que apesar das taxas de crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> serem semelhantes, as incertezas quanto aos dados de renda e descarbonização (diminuição das emissões de carbono por PIB) aumentaram dos cenários SA90 para os cenários SRES. O Gráfico 2 apresenta as suposições de entrada correspondentes às projeções de futuro associadas aos cenários SRES

(mudança das emissões de carbono por PIB para o eixo “ambiental x econômico” e mudança da renda para o eixo “regional x global”). As emissões de carbono por PIB foram calculadas em gC por dólares de 1990 (US\$ 1990) e a renda em dólares de 1990 (US\$ 1990) *per capita* (IPCC, 1990a; 1992a, 2000a). Enquanto o cenário A1FI e o A2 podem ser assinalados para as classes de cenários de não intervenção (pessimistas ou de tendências atuais) o B1 e B2 se encaixam melhor nos grupos de cenários que necessitam de intervenção ou traduzem uma “melhor transição” em direção a um desenvolvimento sustentável (RASKIN *et al*, 2005) que é fortemente interligado com as políticas climáticas (IPCC, 2001b).

**Gráfico 2: Suposições correspondentes às projeções de futuro associadas aos cenários SRES**



Fonte: GIROD *et al* (2009). Vide também Houghton *et al* (1990), Houghton *et al* (1992) e Nakicenovic (2000).

Nota: SA90 A (cenário BAU); SA90 B (políticas de controle); SA90 C (políticas acelerativas).

Finalmente, três mudanças principais no contexto do processo de desenvolvimento dos cenários foram observadas: (1ª) O principal gatilho para gerar a nova série de cenários foi a necessidade por um perfil de emissões mais detalhado para a modelagem climática e a consideração da crescente complexidade da inter-relação dos cenários marcadores para calcular as projeções de emissões. (2ª) A série SA90 proveu um perfil de emissões mais detalhado para avaliar futuras mudanças climáticas e substituiu o padrão que geralmente usou simplesmente o dobro das estimativas de CO<sub>2</sub> (WMO / UNEP, 1998); (3ª) A série IS92 foi destinada para atualizar a série SA90 à luz do “desenvolvimento e políticas recentemente adotadas” (IPCC, 1992a). Já a série SRES não foi apenas conduzida para atualizar a série IS92, mas também para considerar as recomendações processuais e estruturais defendidas pela avaliação da série IS92 do IPCC (ALCAMO *et al.*, 1995).

Os desenvolvimentos metodológicos de técnicas de cenários possibilitaram avançar de uma abordagem já ultrapassada (SA90) para uma abordagem projetiva (IS92) e finalmente, para o uso de “histórias de futuro” explícitas (SRES). Além disso, o número de modelos quantitativos subjacentes, bem como o número de cientistas que participaram, aumentou significativamente até a série SRES. O processo de desenvolvimento da série SRES também incluiu uma ampla revisão científica, mesmo durante a etapa de construção dos cenários, o chamado processo “aberto” (IPCC, 2000a). Finalmente, a aplicabilidade dos cenários mudou de série para série. Enquanto a série SA90 poderia ser utilizada diretamente para avaliar as consequências das intervenções a fim de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, as séries IS92 e SRES apenas poderiam ser utilizadas para avaliar as consequências da não intervenção futura e ampliar o número de cenários de linha de base (referência) recomendados para essas avaliações (GIROD *et al.*, 2009).

Em outra análise, foi realizada uma comparação entre os cenários de emissões do IPCC-SRES com os demais cenários do “Banco de Dados de Cenários de Emissões SRES” - em inglês, *SRES Emission Scenario Database / ESD* (MORITA, 1999; SRES, 2000; GIROD *et al.*, 2009). Este banco de dados ESD foi desenvolvido para gerenciar e acessar um grande número de diferentes conjuntos de dados, bem como de cenários de emissões devidamente testados e documentados na literatura mundial.

O ESD foi desenvolvido para o IPCC-SRES pelo Instituto Nacional de Estudos Ambientais (NIES) <sup>6</sup>, do Japão, e incluiu 416 cenários a partir de 171 fontes da literatura

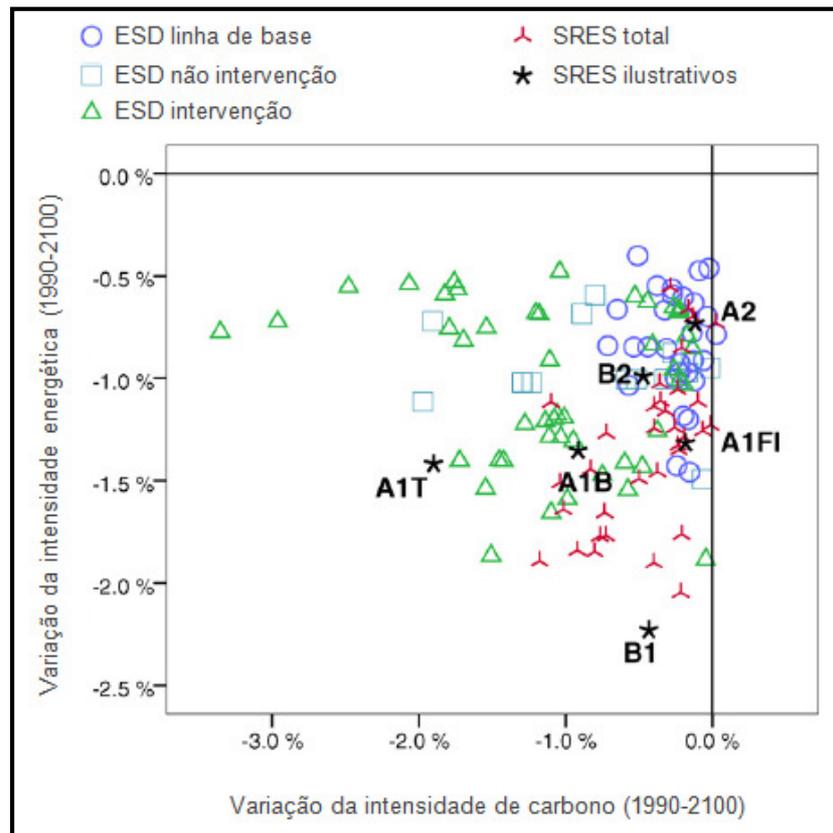
---

<sup>6</sup> *National Institute for Environmental Studies* (NIES). O banco de dados ESD pode ser acessado através do site <http://www.cger.nies.go.jp/cger-e/db/ipcc.html>.

e de eventos de avaliação de cenários, tais como o Fórum de Modelagem Energética (*Energy Modeling Forum / EMF*), conferir WEYANT (1993), e o Workshop Internacional de Energia (*International Energy Workshop / IEW*), ver MANNE & SCHRATTENHOLZER (1996 e 1997). O objetivo principal do ESD foi o de facilitar o gerenciamento e utilização de grandes quantidades de dados relacionados aos cenários de emissões de GEE, bem como atender à necessidade de se ter um número cada vez maior de possibilidades para comparação e refinamento, devido aos crescentes interesses políticos e detalhamento de pesquisas, além da necessidade de identificação dos pontos fortes e fracos dos últimos cenários (IS92), permitindo a investigação centrar-se nas áreas mais cruciais ou pouco investigadas. Cada um destes 416 cenários de emissões foram quantificados, usando-se principalmente modelos computacionais de simulação, que por sua vez utilizam e correlacionam muitas hipóteses de fatores como o crescimento da população, do PIB, a melhoria da eficiência da tecnologia, mudanças de uso da terra, e da base de recursos de energia. Os pressupostos utilizados na incorporação destes fatores, muitas vezes diferiram entre as simulações, assim como os fatores reais representados nas simulações (MORITA & LEE, 1998; SRES, 2000).

Por esta comparação, GIROD (2009) enfatiza que se pode notar um maior alcance para a população e as projeções de renda, que refletem a incerteza inerente dos desenvolvimentos futuros (credibilidade). O menor limite do PIB da série SRES comparada com a série IS92 resulta de uma combinação de baixa receita e alta população e vice-versa (indicado pela correlação negativa entre a renda e o crescimento populacional nos cenários SRES), foi baseado em novas descobertas de BARRO (1997). Focando na diminuição da intensidade de carbono e intensidade energética, ou seja, aumento de eficiência (Gráfico 3), a análise mostra que os cenários SRES A1B, A1T e B1 são semelhantes aos cenários de intervenção ESD. Esta diminuição na intensidade de carbono e energia é baseada em incentivos para combustíveis não fósseis e desenvolvimento sustentável, induzidos por outros motivos além da política climática. A intensidade de energia foi calculada por meio do consumo primário de energia por PIB (J / 1990 US\$), enquanto que a intensidade de carbono foi calculada com base nas emissões por meio do consumo primário de energia (gC / J). O que é fundamental, contudo, é que a mudança de premissas para o SRES não foi indicada explicitamente e que os seus cenários foram caracterizados como cenários de não intervenção, como foram os IS92.

**Gráfico 3: Projeção da variação anual da intensidade energética e de carbono segundo cenários SRES e ESD (1990-2100)**



Fonte: GIROD *et al* (2009). Vide também BARRO (1997), MORITA & LEE (1998) e MORITA (1999).

Sobre cenários futuros, o IPCC decidiu em 2006 catalisar o desenvolvimento de novos cenários pela comunidade de pesquisa, ao invés de desenvolvê-los, com a intenção de que esses cenários apoiará a construção e pesquisas em torno do 5º Relatório de Avaliação do Painel (AR-5), programado para ser concluído em 2014 .

Desta forma, o IPCC iniciou um processo de avaliação de possíveis padrões de evolução da concentração atmosférica de GEE por meio de “Caminhos Representativos de Concentração (em inglês, *Representative Concentration Pathways* - RCPs)”, que vão servir simultaneamente para o desenvolvimento de novos modelos de simulações climáticas e novos cenários socioeconômicos de emissões (IPCC, 2008). No entanto, o processo pelo qual estes cenários novos estão sendo produzidos difere do desenvolvimento dos cenários anteriores, quando o primeiro passo era produzir cenários socioeconômicos alternativos responsáveis por diferentes níveis de emissões futuras de GEE e aerossóis para, em seguida, avaliar os efeitos dessas emissões no sistema climático, e depois avaliar as implicações dessas mudanças climáticas juntamente com diferentes projeções sócio-econômicas e outras mudanças

ambientais com impactos sobre os sistemas naturais e humanos (GIROD, 2009; IPCC, 2012<sup>7</sup>).

A experiência mostra que este processo leva cerca de dez anos para ser concluído, levando-se em consideração o tempo necessário para desenvolver e aplicar estes novos cenários, e para garantir uma melhor integração entre as forças motrizes sócio-econômicas, mudanças no sistema climático, e as vulnerabilidades dos sistemas naturais e humanos. Ao invés de começar com cenários socioeconômicos alternativos que tendenciarão o nível das emissões de GEE, os novos cenários assumirão como ponto de partida as alternativas futuras das concentrações globais de GEE e aerossóis (IPCC, 2012). Contudo, os desafios para o desenvolvimento de novos cenários de emissão do IPCC permanecem: (i) concordar com um número considerável de cenários de emissões, (ii) descrever e classificar os cenários de forma transparente (intervenção / não intervenção), (iii) avaliar que políticas são necessárias para alcançar os baixos RCPs / cenários de emissões, e (iv) mediar entre as contribuições de revisão científica e intergovernamental de forma transparente e justa.

---

<sup>7</sup> Disponível em: [http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5\\_scenario\\_process/index.html](http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_scenario_process/index.html)

## 2.3. Características dos cenários SRES<sup>8</sup>

Os cenários do *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) cobrem um amplo leque de análises considerando as principais forças motrizes que podem influenciar a evolução das emissões futuras baseando-se estas em três grandes grupos expressos por populações nacionais, avanços tecnológicos e PIB (Produto Interno Bruto). Os resultados evidenciados pelos cenários do SRES apresentam que diferentes estágios de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, impactam significativamente as tendências de emissão de gases estufa e aerossóis. Estes novos cenários também fornecem uma importante compreensão sobre as interligações entre qualidade ambiental e opções de desenvolvimento, podendo constituir um importante instrumento para especialistas, pesquisadores e formuladores de políticas. Na fundamentação deste tópico, foram utilizados diferentes relatórios do IPCC e referências correlatas, tais como 1990 (Houghton et al., 1990.) e 1992 (Leggett et al., 1992).

O processo de desenvolvimento dos cenários SRES foi composto de quatro etapas principais:

1. Revisão da literatura mundial especializada em cenários e desenvolvimento/análise de uma base de dados sobre 416 cenários de emissões globais e regionais até então publicados;
2. Avaliação do conjunto de características dos principais cenários, suas interações e forças motrizes (tais como população, desenvolvimento econômico, consumo de energia, taxas de mudança tecnológica e emissões de GEE) e a documentação dos resultados. Particularmente nesta etapa, a equipe SRES trabalhou em estreita colaboração com colegas do Grupo de Trabalho do IPCC sobre Cenários Climáticos para a Avaliação de Impacto (TG CIA)<sup>9</sup> e com colegas de todos os três Grupos de Trabalho do IPCC;
3. Divisão dos cenários por grupos e definição dos cenários “marcadores”, descrição de suas características e desenvolvimento consoante as principais abordagens de modelagem de todo o mundo. A escolha dos marcadores foi baseada em torno do espectro de suas respectivas emissões, definição das quantificações iniciais (pelos modeladores) que refletiria melhor a sua “história

---

<sup>8</sup> As informações utilizadas para fundamentação deste item referem-se à análise de documentos e relatórios relevantes divulgados pelo IPCC – tais como (IPCC, 1990, 1992, 2000), além de referências correlatas (Alcamo et al., 1995; de Vries et al., 2000; Jiang et al., 2000; Kram et al., 2000; Mori, 2000; Riahi and Roehrl, 2000; Roehrl and Riahi, 2000; Sankovski et al., 2000). Para descrição dos cenários do IPCC foram referenciados os documentos oficiais do próprio Painel (IPCC, 1990).

<sup>9</sup> IPCC Task Group on Climate Scenarios for Impact Assessment (TG CIA).

de futuro”; a preferência de algumas das equipes de modelagem e as características de modelos específicos, e; utilização de modelos diferentes para os quatro marcadores. Como resultado, os cenários “marcadores” não se traduziram, necessariamente, na mediana ou na média das respectivas famílias de cenários, mas foram considerados pelos especialistas do SRES como ilustrativos de uma “história de futuro” particular. Estes cenários receberam a maior atenção de toda a equipe de roteiristas e foram os mais testados em termos de reprodutibilidade;

4. Inauguração em junho de 1998, de um processo de consulta aberta através do site do IPCC para proposições dos grupos responsáveis e especialistas em modelagem de todo o mundo, seguido dos especialistas do próprio IPCC e de representantes de governos, sendo estes coordenados por quatro editores de revisão. O objetivo principal era o de revisar os cenários marcadores e desenvolver alternativas dentro de cada uma das quatro famílias de cenários. Este processo de ampla consulta foi encerrado em janeiro de 1999 e contribuiu para a construção de um conjunto mais completo e refinado a partir de 40 novos cenários, que reflete o amplo espectro de abordagens de modelagem e perspectivas regionais. Os cenários marcadores preliminares publicados no site foram fornecidos também para modelos climáticos, com a aprovação da Secretaria do IPCC.

O conjunto de cenários de emissões do SRES incluem as emissões de todas as espécies relevantes de GEE e de enxofre, incluindo-se as emissões antropogênicas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), clorofluorcarbonos (CFCs), dos gases de dióxido sulfúrico ( $\text{SO}_2$ ) quimicamente ativos, do aerossol precursor destes gases, do monóxido de carbono (CO), óxidos nitrogenados (NOx) e dos compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOCs).

Estes cenários baseiam-se em seis modelos diferentes, sendo fornecidas emissões agregadas em quatro regiões do mundo e em totais mundiais. Foram desenvolvidas quatro diferentes linhas qualitativas de evolução - *storylines* (“histórias de futuro”), cada uma assumindo uma direção diferente com relação a desenvolvimentos futuros, assim como diferem em direções progressivamente irreversíveis. Juntas elas descrevem futuros divergentes que compreendem uma parte significativa das incertezas subjacentes às principais forças motrizes supracitadas.

A equipe SRES decidiu pelo número de quatro histórias, por um lado para evitar a impressão de que poderia haver um caso “central” ou “mais provável”, o que poderia se dar por meio de uma seleção ímpar; por outro lado, a opção era por mais de duas histórias para ajudar na ilustração de um futuro que depende de variadas dinâmicas subjacentes, bem como não se queria ultrapassar o número de quatro para evitar complicar o processo com muitas alternativas.

Dadas as grandes faixas de emissões futuras e suas forças motrizes, há um número infinito de possíveis futuros alternativos para se explorar. Os cenários SRES cobrem, portanto, um finito, embora de ampla escala, das emissões futuras. Para facilitar o processo de identificação das alternativas de desenvolvimentos futuros, a equipe decidiu descrever seus cenários de forma coerente através de enredos narrativos – as “histórias de futuro”. Estas histórias descrevem os diferentes desenvolvimentos em termos econômico, técnico, ambiental e social. As principais razões para a formulação destas histórias foram:

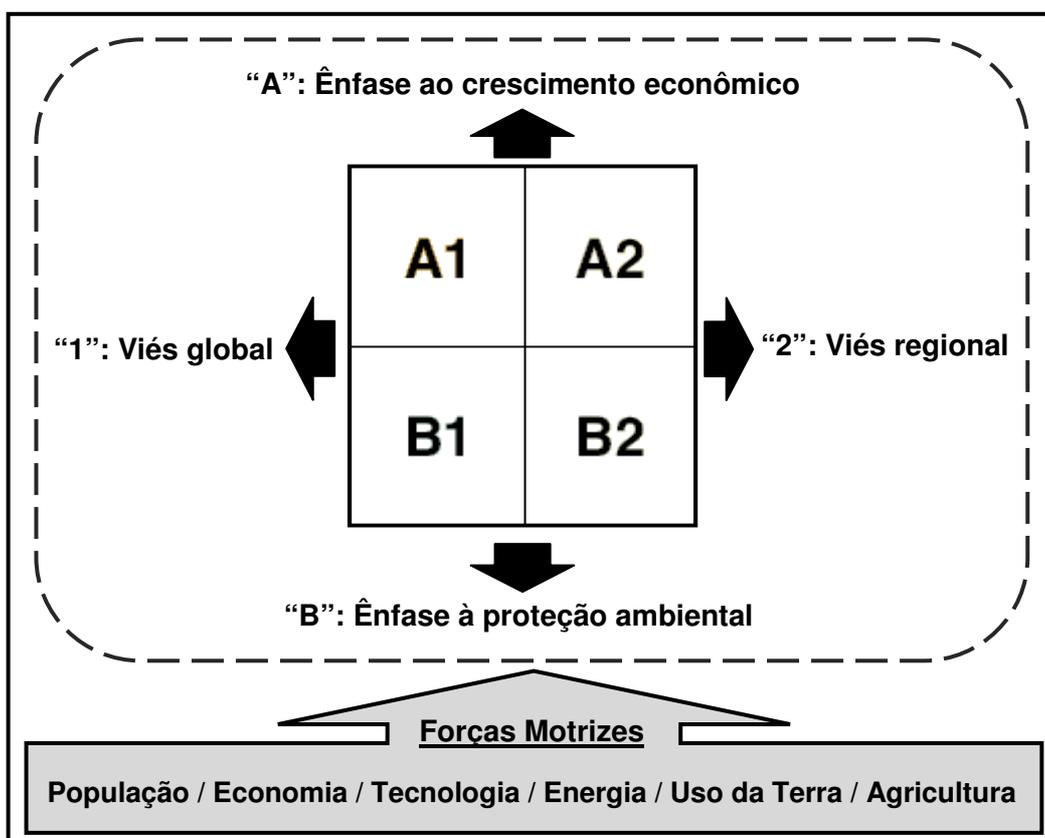
- Ajudar a equipe SRES a refletir de forma mais coerente sobre a complexa interação entre as forças dentro de cada cenário “marcador” e dos cenários alternativos;
- Tornar mais fácil a explicação dos cenários para os diferentes grupos de especialistas e pesquisadores, fornecendo uma descrição narrativa de futuros alternativos que vão além de características quantitativas de cada cenário;
- Tornar os cenários mais claros e utilização prática, em especial para os analistas que contribuem com os GT-I e GT-II do IPCC, quanto às abordagens social, política e tecnológica descritas nas histórias dos cenários, sendo importantes na análise dos efeitos de políticas ou de adaptação à mudança do clima ou para a redução das emissões de GEE.

Estas “histórias de futuro” se consubstanciam em quatro conjuntos de cenários designados “famílias”: A1, A2, B1 e B2. Os títulos foram mantidos simples, não havendo nenhuma ordem particular entre elas, seja por ordem alfabética ou numérica. Por estas famílias, procura-se descrever de modo consistente as relações entre as forças motrizes de emissões e sua evolução e, com isto, dotar a quantificação dos cenários de um contexto qualitativo.

De modo generalizado, a letra “A” indica maior ênfase no crescimento econômico mundial, a letra “B” indica maior ênfase na proteção ambiental, o número “1” indica um mundo mais globalizado e o número “2” indica um mundo mais

regionalizado. No caso da família A1, houve uma subdivisão em três famílias A1FI, A1T e A1B, sendo o primeiro, com maior ênfase no uso de fontes fósseis de energia, o segundo com ênfase em fontes renováveis e o terceiro, “balanceado”, caracterizando um equilíbrio entre os dois extremos. O Gráfico 4 apresenta uma representação simplificada das quatro famílias de cenários SRES, sendo estes construídos sobre as principais forças motrizes de emissões de GEE. Cada família de cenário é baseada em uma especificação comum de algumas das principais forças motrizes.

**Gráfico 4: Esquema simplificado das quatro famílias de cenários SRES**



Fonte: Baseado em informações do SRES (2000).

Cada uma destas quatro linhas representa diferentes desenvolvimentos demográficos, sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais, sendo constituídas por conjuntos de cenários diferentes que refletem de forma ampla estas forças motrizes e utilizam diferentes abordagens de modelagem a fim de examinar a amplitude dos resultados provenientes de uma série de modelos que utilizam hipóteses similares concernentes às forças motrizes.

Por sua vez, cada cenário - de um total de 40 (quarenta) - constitui uma interpretação quantitativa específica conforme as especificidades destas quatro linhas

evolutivas. Todos os cenários baseados em uma mesma linha evolutiva constituem uma “família” de cenários.

A abordagem multi-modelo é utilizada, a partir de seis modelos representativos na literatura, possibilitando que, juntos, os 40 cenários SRES resultantes abrangessem o conjunto de incertezas sobre emissões futuras de GEE provenientes das diferentes características destes modelos. Isto em adição, não apenas ao atual conhecimento das forças motrizes de cenários - tais como desenvolvimento demográfico, social e econômico e tecnológico que balizam os modelos, mas também às incertezas que surgem destas forças motrizes.

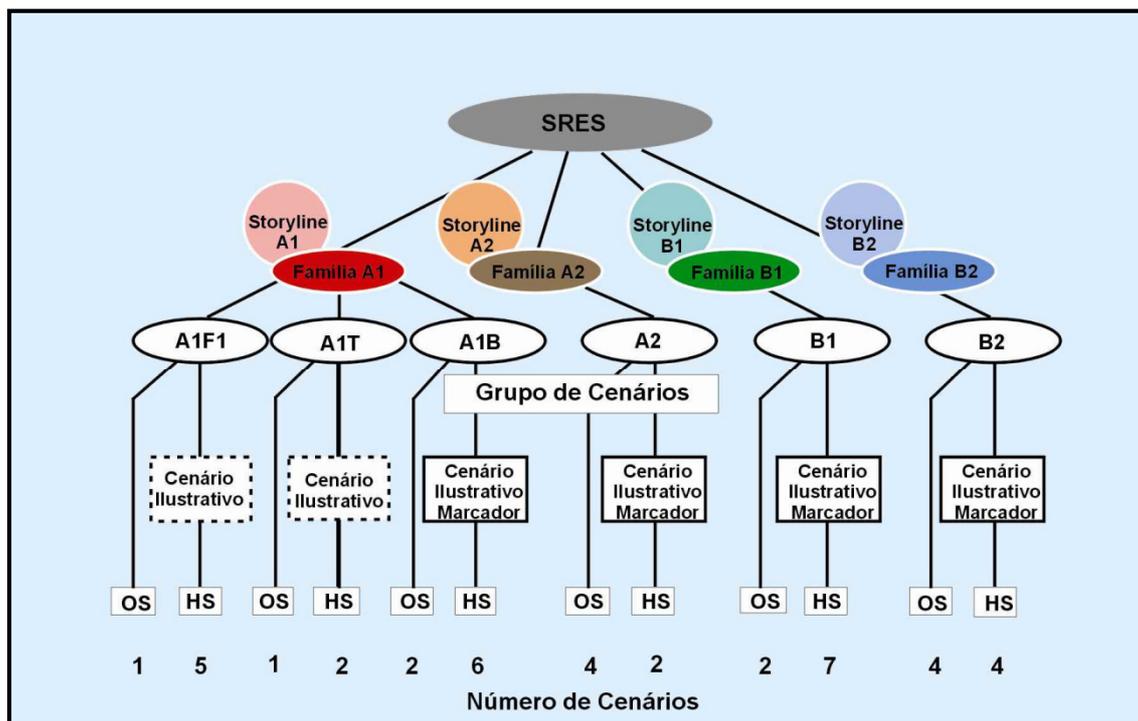
Dois tipos principais de cenários foram desenvolvidos em cada família:

- Os que assumem pressupostos harmonizados com a situação presente (*business as usual* - BAU) sobre população global, crescimento econômico, uso de energia final, etc;
- Os com quantificação alternativa da “história de futuro”.

Uma observação importante é a de que, nos novos cenários, não foi considerado nenhum efeito de realimentação causado pelas mudanças climáticas futuras sobre as emissões provenientes da biosfera ou do setor de energia. Entretanto já existem ferramentas capazes de estimar esse efeito como no caso de uma maior concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera gerando menor forçamento radiativo do que numa atmosfera de concentração mais rarefeita.

Na Gráfico 5 apresenta-se de forma esquemática os cenários SRES, pela qual se evidenciam as quatro linhas evolutivas de “histórias de futuro” qualitativas, bem como os quatro respectivos conjuntos de cenários chamados “famílias”: A1, A2, B1 e B2.

**Gráfico 5: Organograma das quatro *storylines* do SRES e respectivas famílias de cenários**



Fonte: IPCC SRES (2000) & PETROBRAS (2011).

Os 40 cenários do SRES foram desenvolvidos por diferentes modelos e o conjunto consiste em seis grupos de cenários, sendo:

- Um grupo para cada uma das famílias **A2**, **B1** e **B2**, e;
- Três grupos dentro da família **A1**, caracterizando desenvolvimentos alternativos da tecnologia de energia:
  - **A1FI** (intensivo em combustível fóssil);
  - **A1B** (balanceado), e;
  - **A1T** (predominantemente combustíveis não fósseis).

Dentro de cada família e grupo de cenários, alguns pressupostos compartilham população global, produto mundial bruto e energia final. Estes são assinalados como “HS” para “cenários harmonizados”, procedimento para facilitar a comparação dos resultados dos modelos, adotando-se pressupostos comuns (por exemplo, crescimento populacional). Pela harmonização, as diferenças nos resultados dos modelos, devidas às diferenças nos pressupostos adotados, podem ser separadas daquelas resultantes dos parâmetros internos do modelo.

Já a sigla “OS” significa cenários que exploram incertezas nas forças motrizes além daquelas dos cenários harmonizados. O número de cenários desenvolvidos em cada categoria está apresentado na Gráfico 5.

Para cada um dos seis grupos de cenários é fornecido um cenário ilustrativo (que é sempre harmonizado – “HS”). Quatro cenários ilustrativos marcadores, um para cada família de cenários, foram utilizados em forma de rascunho na abertura do processo do SRES, em 1998. A escolha dos marcadores se deu em função das quantificações iniciais que melhor refletissem as “histórias de futuro” e as características de modelos específicos. Também são fornecidos dois cenários ilustrativos adicionais para os grupos A1FI e A1T, completando um conjunto de seis que ilustram todos os grupos de cenários. Todos os cenários são considerados igualmente consistentes.

Conforme a disposição dos cenários, vinte e seis foram harmonizados através da adoção de pressupostos comuns sobre população global e desenvolvimento do Produto Interno Bruto (PIB). Os cenários harmonizados em cada família não são independentes um do outro. Os outros quatorze cenários adotaram interpretações alternativas das quatro histórias de futuro para explorar as incertezas adicionais aos cenários, além de diferenças nas abordagens metodológicas.

Os cenários também estão inter-relacionados dentro de cada família, mesmo que não compartilhem os mesmos pressupostos comuns sobre algumas forças motrizes. No quadro 1 segue a descrição de cada família de cenários SRES e suas principais características:

## Quadro 1: Apresentação das Famílias de Cenários SRES IPCC<sup>10</sup>

<b>Família de cenários A1</b>
<p>A1 se refere à família de cenários que descreve um mundo futuro onde a globalização é dominante. Nestes, o crescimento econômico é rápido e o crescimento populacional é pequeno com um desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Neste mundo, os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental. Há três cenários que descrevem direções alternativas de mudança tecnológica no sistema de energia: A1F (máximo uso de combustível fóssil) e A1T (mínimo uso de combustível fóssil) e A1B (cenário de estabilização / equilíbrio de todas as fontes). Temas subjacentes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Crescimento econômico muito rápido;</li><li>⇒ Convergência econômica entre regiões, com uma substancial redução das diferenças de renda <i>per capita</i> entre regiões / melhoria substancial da distribuição de renda mundial;</li><li>⇒ População global atinge o pico na metade do século XXI e declina logo depois;</li><li>⇒ Rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes;</li><li>⇒ Capacitação generalizada e aumento das interações sociais e culturais entre regiões.</li></ul>
<b>Família de cenários A2</b>
<p>Os cenários da família A2 descrevem um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Temas subjacentes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Crescimento populacional elevado: os padrões de fertilidade entre as regiões convergem lentamente, resultando em um aumento contínuo da população global.</li><li>⇒ Descreve um mundo heterogêneo;</li><li>⇒ Possui como tema principal a auto-suficiência , autonomia nacional e preservação de identidades locais;</li><li>⇒ Menor preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido, sendo este primordialmente orientado para o bloco regional;</li><li>⇒ O crescimento econômico <i>per capita</i> e a mudança tecnológica são mais</li></ul>

<sup>10</sup> Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/fn5.htm#1> (acesso em: 13/12/2011).

fragmentados e lentos do que em outros cenários.

### **Família de cenários B1**

O conjunto de cenários da família B1 descreve uma rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo aumento de equidade, porém, sem iniciativas adicionais para enfrentar as mudanças climáticas. Temas subjacentes:

- ⇒ Descreve um mundo convergente;
- ⇒ A população global atinge o ápice na metade do século XXI e diminui logo depois;
- ⇒ Mudanças rápidas nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e de informação, com a desmaterialização da produção e a introdução de tecnologia limpa e eficiente em termos de utilização de recursos;
- ⇒ Considera também esforços combinados para o desenvolvimento rápido de novas tecnologias.

### **Família de cenários B2**

Os cenários B2 descrevem um mundo no qual a ênfase está em soluções locais, a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais. Temas subjacentes:

- ⇒ Estima um crescimento contínuo da população global a uma taxa menor do que na família A2;
- ⇒ Os níveis de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica se dão de forma mais lenta e diversificada do que nas famílias B1 e A1;
- ⇒ É também orientado para a proteção ambiental e equidade social, possuindo, porém, um foco local e regional.

Fonte: IPCC (2000).

Estes seis grupos de cenários incluem quatro combinações de mudança demográfica, desenvolvimento social e econômico, e amplo desenvolvimento tecnológico, correspondendo às quatro famílias (A1, A2, B1, B2), cada uma com um cenário “marcador” ilustrativo. Dois desses grupos de famílias de cenários A1 (A1FI, A1T), exploram explicitamente o desenvolvimento de tecnologias de energias alternativas, mantendo constantes as outras forças motrizes correspondentes à

família, cada um com um cenário ilustrativo. Assim, os cenários estão inter-relacionados dentro de cada família, mesmo que necessariamente não compartilhem os mesmos pressupostos comuns sobre algumas forças motrizes.

Cabe frisar que os quatro cenários marcadores não são mais ou menos verossímeis do que quaisquer outros cenários. Contudo, a equipe de elaboração do SRES escolheu um cenário marcador (preliminar) dentro de cada um dos quatro grupos de cenário e os classificou como ilustrativos de uma história de futuro particular, sendo sua escolha baseada em função das quantificações iniciais que melhor refletissem as “histórias de futuro” e as características de modelos específicos. Isto, com o propósito de que estes subsidiassem as discussões em torno da preparação do IPCC TAR, consoante decisão de 1998 do Comitê do IPCC, que enfatizou a necessidade de produzir versões preliminares de cenários para grupos de desenvolvimento de modelos climáticos.

Com relação às forças motrizes que continuarão a influenciar as trajetórias futuras de emissões de GEE, os pesquisadores do SRES destacaram três principais, considerando consistente esta seleção perante os resultados anteriormente apontados pelos relatórios de cenário do IPCC de 1990, 1992 e 1995. As três forças motrizes principais são: (1) a evolução demográfica; (2) o desenvolvimento social e econômico, e; (3) a taxa e o sentido da mudança tecnológica. Nos quadros a seguir são destacadas algumas considerações de cada uma destas três forças motrizes, consoante avaliação do SRES (2000).

**Quadro 1: Principais forças motrizes consideradas nos cenários SRES /  
EVOLUÇÃO DEMOGRÁFICA**

Na quantificação dos cenários SRES foram consideradas três trajetórias populacionais diferentes considerando-se as incertezas futuras com base em projeções demográficas publicadas por (LUTZ, 1996) e Nações Unidas (ONU, 1998). Outros pontos de destaque:

- ⇒ Consoante os dados sobre a população mundial, as projeções do SRES são, em termos gerais, mais baixas do que as consideradas nos cenários do IS92;
- ⇒ Segundo a parametrização destas projeções para os cenários SRES, a população mundial variará entre 7 e 15 bilhões de pessoas até 2100 (vide o Gráfico 6 a seguir), dependendo da velocidade e extensão da transição demográfica.
- ⇒ Nesta estimativa, assumiu-se que as taxas de fertilidade convergiram para os níveis de reposição populacional no cenário B2, cenário intermediário considerado

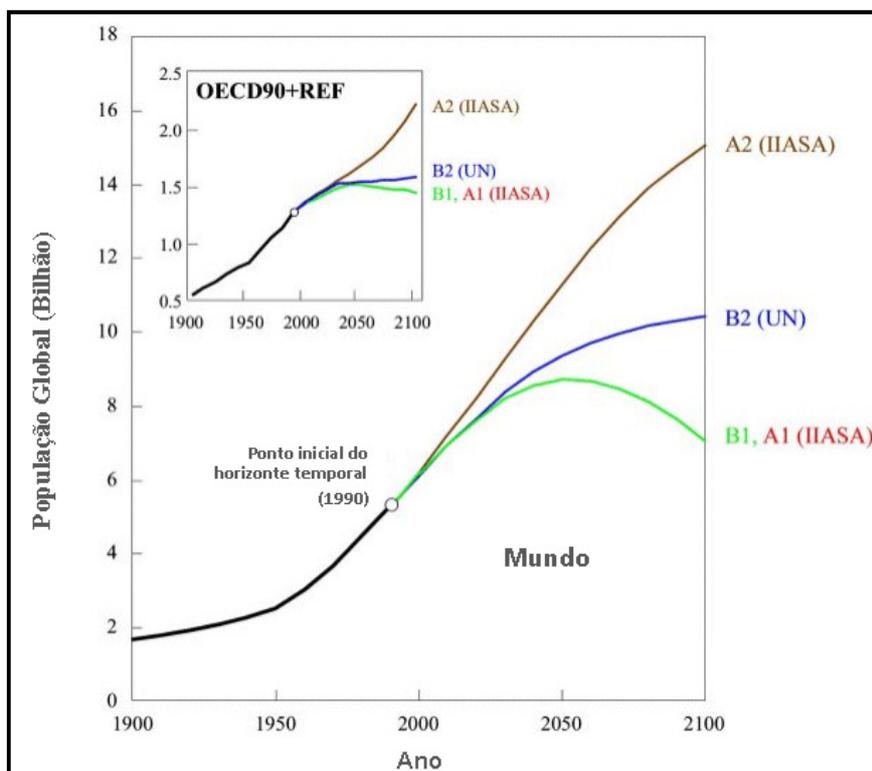
pela ONU (1998), ou abaixo destes níveis nas famílias de cenários A1 e B1, que adotam uma variante do cenário de baixa população considerada em LUTZ (1996). A taxa de reposição populacional é positiva quando a população total, descontando-se a imigração, assume uma tendência de alta, com o número de pessoas que nascem sendo superior ao número de pessoas que morrem;

- ⇒ A família de cenários B2 foi baseada nas diretrizes de um cenário mediano de estudo das Nações Unidas sobre as perspectivas da população mundial (ONU, 1998), assumindo uma projeção de longo prazo para população de aproximadamente 10,4 bilhões no ano de 2100.
- ⇒ Já as famílias de cenários A1 e B1 foram baseadas em projeção de baixa evolução demográfica realizada pelo IIASA<sup>11</sup> a partir de LUTZ (1996). Estes cenários compartilham desta trajetória mais conservadora que alcançará cerca de 8,7 bilhões de pessoas por volta de 2050 e diminuirá para 7 bilhões por volta de 2100, combinando baixa fertilidade com baixa mortalidade, ou seja, garantindo a reposição populacional;
- ⇒ A família de cenários A2 baseia-se na projeção de alta populacional descrita por LUTZ (1996) e parametrizada pelo IIASA, que é caracterizada por padrões de fertilidade heterogêneos que permanecem acima dos níveis de reposição populacional em muitas regiões do globo, mas ainda assim diminuem relativamente aos níveis atuais. Esta projeção retrata uma expectativa de grande crescimento populacional da ordem de 15 bilhões por volta do ano 2100, assumindo um declínio significativo de fertilidade na maioria das regiões e estabilização acima dos níveis de reposição. No entanto, esta projeção ainda fica abaixo da mais elevada prevista pela ONU (1998), que é de 18 bilhões de pessoas;
- ⇒ Em todos os cenários, a concentração de crescimento futuro da população e sua incerteza residem principalmente nos países em desenvolvimento, sendo o fator urbanização uma tendência igualmente difundida em todos os cenários. Uma vez que as trajetórias de população são exógenas a todos os modelos utilizados no SRES e estão sujeitas a um critério de harmonização rigoroso pelos diferentes modelos aplicados, não há variações demográficas de grande magnitude, com exceção da família de cenários A2.

---

<sup>11</sup> *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)*: instituto de pesquisa austríaco liderado por Nebojsa Nakicenovic, coordenador dos trabalhos do SRES.

**Gráfico 6: Perspectivas de população segundo cenários SRES**



Fonte: IPCC TAR (2001) & SRES (2000).

Notas: Os dados históricos de 1900 a 1990 se baseiam em DURAND (1967), DEMENY (1990) e ONU (1998), enquanto que os cenários SRES de 1990 a 2100 se baseiam em LUTZ (1996) e ONU (1998). No detalhe, projeções relativas ao conjunto de países do bloco OCDE<sup>12</sup> e do REF, designação para os países em processo de reforma econômica e agrupa os países do Leste Europeu e dos Novos Estados Independentes da ex-União Soviética. Ele inclui os países do Anexo I, afóra o Anexo II conforme definido no UNFCCC (1992), com referência a 1990.

<sup>12</sup> OCDE (em inglês, OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*), é uma organização internacional de 34 países que aceitam os princípios da democracia representativa e da economia de livre mercado, procurando fornecer uma plataforma para comparar políticas econômicas, solucionar problemas comuns e coordenar políticas domésticas e internacionais. A maioria dos membros da OCDE são economias com um elevado PIB *per capita* e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), sendo, portanto, considerados países desenvolvidos, à exceção de México, Chile e Turquia. Além destes, a OCDE possui 25 estados não-membros com o *status* de observadores ou participantes de pleno direito nas suas Comissões, a exemplo de Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, os BRICS, acrônimo do grupo destes cinco países em estágios similares de mercados emergentes que se uniram para formar um grupo político de cooperação.

## Quadro 2: Principais forças motrizes consideradas nos cenários SRES / DESENVOLVIMENTO SOCIAL E ECONÔMICO

Os cenários SRES abrangem uma ampla gama de taxas futuras de crescimento econômico (tabela 2) e níveis resultantes da produção econômica. As incertezas associadas aos níveis futuros do PIB são regidas pelas taxas de crescimento da produtividade e da população, especialmente em países em desenvolvimento.

Dada a relação inversa entre o crescimento da população e o crescimento da renda *per capita*, as incertezas relacionadas às taxas futuras de crescimento populacional tendem a restringir o intervalo de projeções associadas ao PIB. Um elevado crescimento populacional, mantidas todas as demais variáveis constantes, diminui a progressão da renda *per capita*, enquanto uma diminuição da população tende a aumentar essa progressão.

Esta relação é evidenciada por dados empíricos, em que países que possuem elevados níveis de renda *per capita* geralmente são aqueles que já concluíram o processo de transição demográfica, em que suas populações (em média) registram declínio da mortalidade, alto índice de longevidade e baixas taxas de fecundidade. Dentro deste conjunto, composto em grande parte por países desenvolvidos, há também exceções, como por exemplo, países de populações pequenas, porém, com renda significativa provenientes das exportações de *commodities*. No entanto, mesmo assumindo esta relação como válida para o futuro de longo prazo das projeções, sua quantificação é sujeita a incertezas teóricas consideráveis e empíricas (Alcamo *et al.*, 1995). Outros pontos de destaque:

- ⇒ A família de cenários A1, com uma perspectiva do PIB global entre US\$ 520 e US\$-550 trilhões em 2100, corresponde ao limite mais elevado do SRES, enquanto os cenários A2 e B2, com uma perspectiva de montante entre US\$ 230 e US\$ 250 trilhões em 2100, representam o respectivo limite inferior. A família de cenários B1 assume posição intermediária;
- ⇒ Uma redução nas diferenças de renda entre regiões é adotada em muitos dos cenários do SRES. Duas das famílias de cenários, A1 e B1, exploram explicitamente caminhos alternativos que reduzem gradualmente as diferenças relativas de renda;
- ⇒ Como reflexo da incerteza, o desenvolvimento diverge geograficamente em termos de padrões de crescimento econômico nas quatro famílias de cenário SRES, conforme pode-se observar pela tabela 2, que apresenta a taxa média anual de crescimento econômico global, bem como pela tabela 3, que apresenta a taxa média anual da evolução da renda per capita, ambas por diferentes regiões e para

cada família de cenários SRES. Com relação aos níveis de atividade econômica, importantes diferenças entre os modelos se mantêm ao longo do período em termos de dados do ano-base (1990). Mesmo após a consideração das diferenças de definições regionais, os resultados do PIB regional baseado em 1990 apresentou disparidade de até 32% em alguns casos. Tais disparidades são particularmente evidenciadas em países em desenvolvimento, onde em muitos casos, as moedas nacionais não são livremente conversíveis, permanecendo importantes incertezas sobre as taxas de conversão aplicáveis (WORLD BANK, 1999). Entre os países da OCDE, estas disparidades são bem menores (3% entre os modelos) e devido a atual predominância do bloco na atividade econômica global, os valores globais do PIB em 1990 correspondem bem aos modelos (5%). Comparações entre cenários, especialmente a nível regional, são, portanto, bem fundamentadas na comparação entre as taxas de crescimento, isto também valendo para os cenários SRES.

- ⇒ Os dados históricos indicam que, embora o processo de crescimento econômico seja heterogêneo entre os países ao longo do tempo, os padrões de crescimento apresentam certas semelhanças. A economia segue um padrão geral de dinamismo, caracterizado por aceleração inicial das taxas de crescimento econômico que passam por um máximo, e declinam uma vez que a base industrial (nível de produção) de uma economia começa a se estabilizar. Esta característica geral de crescimento dinâmico se reflete em todos os cenários SRES, ainda que o tempo e magnitude variem entre as quatro famílias de cenários. Tal variação reflete as “histórias de futuro” específicas dos cenários, bem como as relações particulares de outras forças-motrizes variáveis, tais como demografia;
- ⇒ Os pressupostos adotados para os cenários SRES estão dentro do intervalo sugerido pela literatura especializada, cujo maior nível do PIB mundial é de US\$ 700 trilhões em 2100. Como para o cenário SRES de maior expressão este limite é de US\$ 550 trilhões, pode-se concluir que os cenários SRES procuraram refletir um intervalo moderado quanto às perspectivas extremas;
- ⇒ Em todos os cenários, o futuro se apresenta mais próspero do que os dias atuais, ou seja, considera-se a multiplicação da riqueza global mesmo que ainda pouco provável que se dê de forma generalizada. A previsão é a de o produto bruto mundial atinja aproximadamente dez vezes o valor atual por volta do ano de 2100, considerando-se o cenário mais conservador, e até vinte e seis vezes nos cenários mais otimistas.

**Tabela 2: Taxa de crescimento econômico global (% a.a.) segundo famílias de cenários SRES (períodos de 1950 a 1990 / 1990 a 2050 / 1990 a 2100)**

Região	Média 1950-90	Período 1990-2050				Período 1990-2100			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
OECD90	3,9	2	1,6	1,8	1,4	1,8	1,6	1,5	1,1
		(1,2-2,2)	(1,0-2,1)	(1,7-2,0)	(1,3-1,6)	(0,9-1,9)	(0,9-1,7)	(1,4-1,5)	(1,0-1,3)
REF	4,8	4,1	2,3	3,1	3	3,1	2,5	2,7	2,3
		(2,8-4,6)	(0,6-2,3)	(2,7-3,7)	(1,9-3,3)	(2,2-3,5)	(1,6-2,5)	(2,4-2,7)	(1,6-2,5)
ÁSIA	6,4	6,2	3,9	5,5	5,5	4,5	3,3	3,9	3,8
		(5,8-6,6)	(3,8-4,8)	(5,3-6,2)	(4,2-5,7)	(4,2-4,7)	(3,3-3,7)	(3,8-4,2)	(3,6-3,9)
ALM	4	5,5	3,8	5	4,1	4,1	3,2	3,7	3,2
		(4,8-5,8)	(3,3-4,1)	(4,5-5,3)	(3,3-4,4)	(3,9-4,2)	(3,1-3,4)	(3,5-3,9)	(3,0-3,6)
MUNDO	4	3,6	2,3	3,1	2,8	2,9	2,3	2,5	2,2
		(2,9-3,7)	(1,7-2,8)	(2,9-3,5)	(2,1-2,9)	(2,5-3,0)	(2,0-2,3)	(2,5-2,6)	(2,0-2,3)

Fonte: SRES 2000.

**Tabela 3: Taxa de crescimento da renda *per capita* (% a.a.) segundo famílias de cenários SRES (períodos de 1950 a 1990 / 1990 a 2050 / 1990 a 2100)**

Região	Média 1950-90	Período 1990-2050				Período 1990-2100			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
OECD90	2,8	1,6	1,1	1,5	1,2	1,6	1,1	1,2	1,1
		(1,2-1,8)	(0,8-1,6)	(1,2-1,6)	(1,0-1,4)	(1,2-1,7)	(0,8-1,2)	(1,2-1,3)	(0,9-1,3)
REF	3,7	4,0	1,9	3,0	3,0	3,3	2,0	2,8	2,4
		(2,8-4,5)	(0,5-2,2)	(2,7-3,6)	(1,9-3,3)	(2,5-3,4)	(1,5-2,0)	(2,6-2,8)	(1,6-2,6)
ÁSIA	4,4	5,5	2,7	4,8	4,7	4,4	2,5	3,9	3,3
		(5,1-5,9)	(2,7-3,6)	(4,6-5,5)	(3,3-4,8)	(3,9-4,7)	(2,4-2,9)	(3,8-4,2)	(3,1-3,4)
ALM	1,6	4,0	1,9	3,5	2,4	3,3	1,9	3,0	2,1
		(3,5-4,4)	(1,7-2,2)	(3,1-3,9)	(1,7-2,7)	(3,1-3,5)	(1,8-2,1)	(2,8-3,2)	(1,9-2,5)
MUNDO	2,2	2,8	1,1	2,3	1,8	2,7	1,3	2,2	1,6
		(2,2-2,9)	(0,7-1,5)	(2,1-2,6)	(1,1-1,9)	(2,2-2,8)	(1,3-1,5)	(2,2-2,4)	(1,4-1,7)

Fonte: SRES 2000.

### **Quadro 3: Principais forças motrizes consideradas nos cenários SRES / MUDANÇA TECNOLÓGICA**

A tecnologia é considerada como uma força motriz tão importante quanto a mudança demográfica e o desenvolvimento econômico, estando estas fortemente relacionadas. ALCAMO *et al.* (1995), GRÜBLER (1998) e NAKICENOVIC (1998) destacam a importância da mudança tecnológica para o crescimento da produtividade no longo prazo, considerando as transformações na utilização final de energia e os sistemas de abastecimento, mas também a sua importância para a explicação dos diferentes resultados das projeções de emissões.

NAKICENOVIC (1998) também fornece uma avaliação crítica do conjunto de cenários IS92 e sua comparação com a literatura. Ele considera que as características da tecnologia futura devem ser tratadas como dinâmicas, com as futuras taxas de melhoria estando sujeitas a considerável nível de incerteza. Isso se reflete nos cenários SRES, que adotam uma ampla gama de taxas de melhoria para a extração de energia, conversão e tecnologias de uso final (tabela 4).

A atual representação das mudanças tecnológicas nos seis cenários SRES varia desde a disponibilidade exogenamente prescrita, através de custos e perfis de desempenho (que em alguns casos também incluem consumo ou custos do uso final pela utilização de tecnologia), até a representação estilizada de processos de aprendizagem. No entanto, modelos representativos da mudança tecnológica são pouco desenvolvidos, embora estejam evoluindo satisfatoriamente. Outros pontos de destaque:

- ⇒ O conjunto de cenários A1 descreve um mundo com o rápido desenvolvimento econômico, que resulta em pressões sobre a disponibilidade de recursos, contrabalançado pelo progresso tecnológico, considerado de nível superior dentre as quatro famílias de cenários SRES. A participação do petróleo, gás e biomassa na família de cenários A1 é considerada muito alta, assim como as taxas de progresso tecnológico direcionadas para combustíveis fósseis e tecnologias de exploração de biomassa. Fontes como petróleo não-convencional e gás natural, tornam-se disponíveis a um custo relativamente baixo;
- ⇒ Dentro da família de cenários A1, cenários com similaridades da natureza das forças motrizes sócio-econômicas e demográficas, porém com hipóteses diferentes sobre a dinâmica da tecnologia e uso de recursos, ilustram a possibilidade de caminhos muito divergentes para o desenvolvimento dos padrões do sistema energético. A razão para as taxas de descarbonização serem diferentes dentro do cenário A1 (vide a tabela 4) é a adoção de direções diferentes de desenvolvimento

tecnológico. A tabela 4 resume os pressupostos para as melhorias de tecnologia na distribuição, extração e transformação de energia, bem como a probabilidade de zero carbono no fornecimento de energia até 2100 para os diferentes cenários SRES;

- ⇒ Como mostra a tabela 4, os cenários A1B e A1T assumem melhorias elevadas para tecnologias não-fósseis, levando a uma quota de zero de carbono em energia primária até 2100, que é maior do que no grupo de cenários com ênfase na sustentabilidade (B1);
- ⇒ A família de cenários A2 inclui poucas melhorias na eficiência de fornecimento de energia e uma convergência relativamente lenta da eficiência na utilização final de energia nos setores industrial, comercial, residencial e de transporte. Uma combinação do progresso tecnológico lento e limitadas preocupações ambientais, além da menor disponibilidade de terra devido ao crescimento populacional, indica que as necessidades de energia do mundo A2 serão supridas principalmente por fonte fóssil (com destaque para o carvão) e energia nuclear. No entanto, em alguns casos, a escassez de energia em algumas regiões poderão forçar investimentos em alternativas renováveis, como solar e biomassa;
- ⇒ Consistente com a orientação geral de consciência ambiental e conservação dos recursos da família de cenários B1, a mudança tecnológica estará amplamente direcionada à melhoria da eficiência de conversão ao invés de se concentrar nos custos das tecnologias de combustíveis fósseis. Supõe-se que os subsídios sobre o carvão para a geração de energia elétrica serão totalmente removidos. Uma característica específica do modelo IMAGE utilizado para gerar o cenário marcador B1 é que ele trata as tecnologias de geração de eletricidade não fósseis como altamente genéricas, por exemplo, que não fazendo distinção entre as tecnologias de geração nuclear, solar ou eólica;
- ⇒ A abordagem da família de cenários B2 traduz-se em importantes melhorias futuras das tecnologias, ainda que a taxas mais conservadoras do que em cenários A1 ou B1, porém, com taxas mais elevadas do que no cenário A2. Comparado a A1 e B1, as melhorias de custos são mais modestas, por causa das políticas de tecnologia regionalmente fragmentadas que são assumidas para caracterizar um mundo B2. A ênfase elevada à proteção ambiental a nível local e regional se reflete em um acelerado desenvolvimento e difusão de tecnologias de energia com baixas emissões, incluindo tecnologias avançadas de carvão, energia nuclear e energias renováveis;
- ⇒ Os cenários SRES cobrem uma amplitude mais abrangente de estruturas energéticas do que os cenários IS92, o que reflete algumas incertezas sobre a

mudança tecnológica e os recursos fósseis futuros. Os cenários cobrem virtualmente todas as direções de possíveis de mudanças, desde grande participação de combustíveis fósseis, petróleo, gás ou carvão, até grande participação de não fósseis.

**Tabela 4: Nível das melhorias tecnológicas de extração, distribuição e conversão de energia assumidas para os cenários SRES**

Cenário	Fontes de Energia				Carbono zero* em 2100 (%)
	Carvão	Óleo	Gás	Não fóssil	
<b>B1</b>	Médio	Médio	Médio	Moderada a alta	52%
<b>B2</b>	Baixo	Baixo-médio	Moderada a alta	Médio	49%
<b>A1T</b>	Baixo	Alto	Alto	Muito Alto	85%
<b>A1B</b>	Alto	Alto	Alto	Alto	65%
<b>A1FI</b>	Baixo	Muito alta	Muito alta	Médio	31%
<b>A2</b>	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	28%

Fonte: SRES (2000) e GIROD (2006).

Nota: (\*) Ações de carbono zero em energia primária até 2100 (SRES, 2000);

Graficamente, pode-se observar as emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas do setor de energia e indústria (Gráfico 7) de 1900, 1990 e de 1990 a 2100 para os 40 cenários SRES, apresentadas como índice (1990=1). As linhas tracejadas representam os cenários SRES individuais e a área sombreada o conjunto de todos os cenários disponíveis na literatura e que foram considerados na análise do grupo de especialistas, tal como documentado no ESD - banco de dados do SRES. Os cenários encontram-se classificados em seis grupos a partir de quatro famílias conforme descritas anteriormente. Os seis cenários ilustrativos são destacados, com as barras coloridas verticais indicando a amplitude prevista para 2100 das emissões das quatro famílias de cenários SRES, enquanto que as barras pretas verticais apresentam a amplitude para o mesmo horizonte dos cenários IS92 para efeito de comparação. A distribuição de frequência com a mediana (50%) e percentis (5% e 95%) são também apresentados no gráfico.

Pode-se reparar que os cenários SRES cobrem a maior parte da amplitude das emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia, alcançando desde os 95º percentil

da distribuição (parte alta), seguindo para baixo na até o nível das baixas emissões, logo acima do 5º percentil da distribuição. Assim, apenas são excluídos os cenários mais extremos de emissões encontrados na literatura - aqueles situados nas bordas da distribuição. Talvez, o mais importante é que cada uma das quatro famílias de cenários cobre uma parte considerável desta distribuição, o que implica que uma quantificação semelhante das forças motrizes pode levar a uma grande variedade de emissões futuras.

Mais especificamente, uma determinada combinação das principais forças não é suficiente para determinar uma trajetória única de emissões futuras havendo, portanto, muitas incertezas. O fato de cada uma das famílias de cenários cobrir um conjunto substancial dos cenários da literatura, também conduz a uma sobreposição nos intervalos de emissão dos quatro famílias. Isto implica que um dado nível de emissões futuras pode surgir a partir de combinações muito diferentes das respectivas forças motrizes. Este resultado é de fundamental importância para a avaliação dos impactos das mudanças do clima e possíveis estratégias de mitigação e adaptação. Assim, ele merece uma discussão mais aprofundada. O IPCC (2000)<sup>13</sup> considera que os caminhos de emissões das famílias de cenários A1 e B2 são os que melhor ilustram essas implicações.

A família de cenários A1 explorou variações de alternativas de energia de forma mais explícita e, portanto, cobre a maior parte da distribuição dos cenários mostrados no Gráfico 7, a partir do 95º até pouco acima do 10º percentil. O cenário marcador da família A1 (A1B – balanceado) representa uma configuração de mix de energia no futuro, equilibrada no sentido de que não tende para uma fonte de energia em particular. A família de cenários A1 inclui grupos de cenários que exploram diferentes estruturas específicas do sistema energético, desde caminhos de desenvolvimento carbono-intensivos até os com altas taxas de descarbonização. Os grupos de cenários A1C (intensivos em carvão) e A1G (intensivos em gás e petróleo) foram combinados em um grupo “fóssil intensivo” de cenários A1FI, reduzindo em três, o número de grupos que constituem a família de cenários A1<sup>14</sup>. Todos estes grupos, de alguma forma, compartilham as mesmas suposições das principais forças motrizes.

---

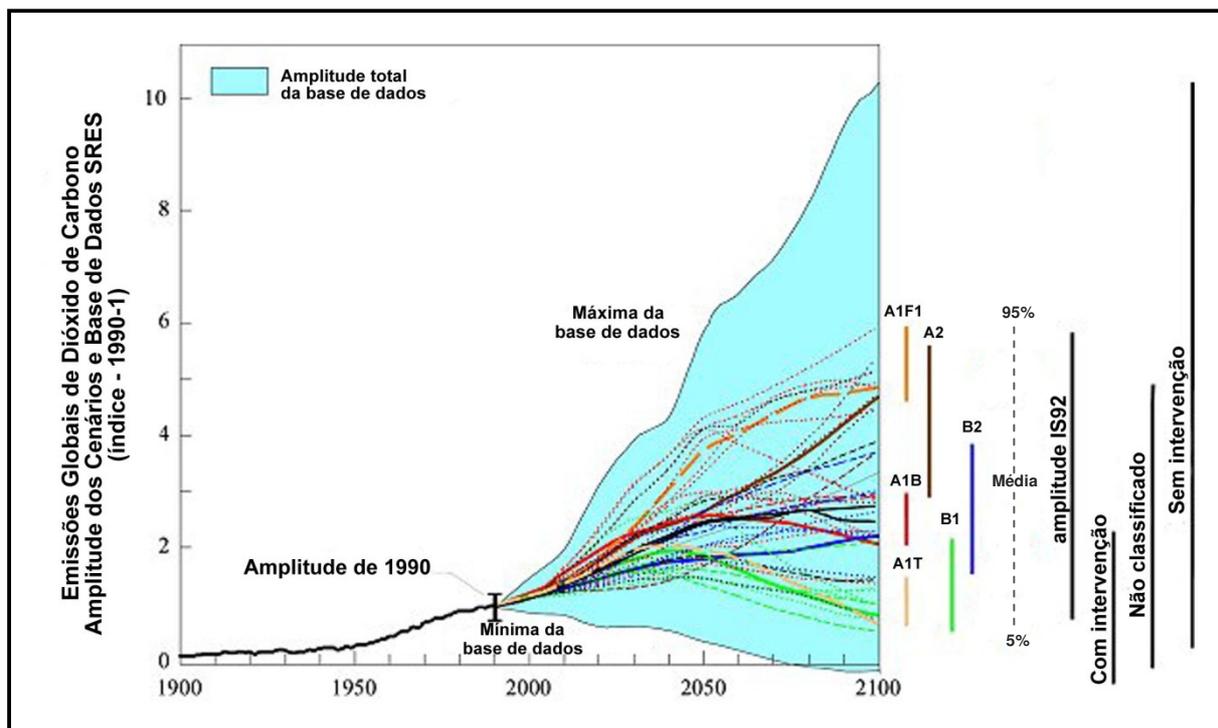
<sup>13</sup> Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=31#fig16> (acesso em 20/11/2012)

<sup>14</sup> Esta alteração foi decidida durante o processo de aprovação do Sumário para Formuladores de Políticas da 5ª Sessão do GT-III do IPCC, ocorrida entre 8 e 11 de março de 2000, em Katmandu (Nepal). Assim, a combinação dos grupos A1C (“*carbon intensive*”) e A1G (“*gas and oil intensive*”) em um grupo A1FI (“*fossil-intensive*”), em contraste com o grupo A1T (“*non-fossil*”), procurou facilitar a adoção dos cenários e suas respectivas inter-relações pelos modeladores e tomadores de decisão. Este último e o cenário A1B (“*balanced*”) foram mantidos inalterados (SRES, 2000).

Isto indica que as diferentes estruturas do sistema energético podem conduzir a variações de emissões futuras bem similares àquelas que podem ser geradas por diferentes combinações das outras forças motrizes principais - população, atividades econômicas e níveis de consumo de energia. A implicação é que a descarbonização de sistemas energéticos, a mudança de fontes de energia intensivas em carbono para as menos intensivas ou livres de carbono, é de importância similar a de outras forças na determinação dos caminhos futuros de emissões. Descarbonização sustentada requer o desenvolvimento e a difusão bem sucedida de novas tecnologias. Assim, os investimentos em novas tecnologias nas próximas décadas pode ter a mesma ordem de influência sobre as emissões futuras como o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico e os níveis de consumo de energia em conjunto.

As quatro barras localizadas à direita do Gráfico 7 indicam a amplitude em 2100 para os cenários IS92 e três cenários da literatura documentados na base de dados do SRES. Estes últimos indicam aqueles cenários que incluem algumas iniciativas climáticas adicionais (designados como cenários de “intervenção”), aqueles que não o são (“não intervenção”) e aqueles que não podem ser designados nem para uma, nem para outra categoria (“não classificado”). Esta classificação é baseada numa avaliação subjetiva dos cenários do banco de dados e foi possível somente para emissões de CO<sub>2</sub> de energia e indústria.

**Gráfico 7: Emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas do setor de energia e indústria conforme os cenários SRES**



Fonte: SRES (2000) & PETROBRAS (2011).

## 2.4. Modelos dos Cenários SRES

Nos conjuntos de cenários SA90 e IS92, do IPCC, havia sido utilizado o **Modelo Quadro de Estabilização Atmosférica (ASF)**, um conjunto integrado de modelos computacionais que utilizam pressupostos comuns de crescimento da população, do crescimento econômico e de mudança estrutural no desenvolvimento dos cenários de emissões de GEE. O módulo de energia ASF é um modelo de equilíbrio parcial que usa os preços da energia para equilibrar a oferta e a demanda.

A demanda de energia é calculada por um modelo *Top-down* (“de cima para baixo”), em que a demanda de energia é estimada em função da população, PIB, preços de energia e suposições sobre melhorias de eficiência autônoma. Por iterativa pesquisa técnica, os preços da oferta de energia são estimados contando-se com a exploração de poços e minas (petróleo e carvão), para depois estimar o preço da energia secundária em cada região. Estes preços de energia secundária são baseados em oferta de preços da exportação marginal da respectiva região, custos de transporte, de refino e distribuição e os impostos e taxas regionais (EPA, 1990; SRES, 2000).

Pelo ASF, a fonte de energia é modelada de diferentes maneiras dependendo do tipo de energia: os combustíveis fósseis são representados como recursos finitos e as curvas de custo marginal de extração define o preço o qual os recursos podem ser desenvolvidos; as energias nuclear e solar são representadas com seus preços de fornecimento sendo fatores exógenos ao longo do tempo; a hidroeletricidade é exogenamente especificada, e os biocombustíveis são representados como recursos finitos combinados com os custos de produção e conversão (GIROD, 2006).

Já para o conjunto de cenários IPCC-SRES, ao todo foram utilizados seis modelos, entre eles, mais uma vez os modelos ASF. Por compreenderem uma abordagem multi-modelo para o desenvolvimento de cenários, os cenários SRES foram além do aplicado ao conjunto IS92, tendo-se assumido seis enfoques diferentes de modelos para a construção de seus seis modelos ilustrativos e demais 34 cenários. Os modelos SRES são representativos de diferentes abordagens de cenários de emissões (abordagens *Top-down* e *Bottom-up*, discutidas no Quadro 4 adiante) e estruturas de IA (avaliação integrada de modelos) na literatura. Os outros cinco modelos que foram utilizados na construção dos cenários SRES, encontram-se descritos a seguir.

O **Modelo Integrado de Ásia Pacífico (AIM)**, de simulação computacional de larga escala, analisa as emissões dos GEE e os impactos do aquecimento global

principalmente para as regiões da Ásia e Pacífico, sendo compreendido pelo Modelo de Emissões (AIM/Emission), do Modelo de Mudanças Climáticas Globais (AIM/Climate) e o Modelo de Impacto das Mudanças Climáticas (AIM/Impact). Existe uma versão mais recente do AIM/emission que faz conexão dos modelos *Bottom-up* e *Top-down*<sup>15</sup>.

**O Modelo Integrado de Avaliação dos Efeitos dos Gases Estufa (IMAGE)** faz conexão com três sistemas de modelos: Sistema de Energia-Indústria (EIS), Sistema de Ambiente Terrestre (TES), Sistema Atmosfera-Oceano (AOS).

- *Sistema de Energia-Indústria (EIS)*: computa emissões para 13 regiões do mundo. As emissões da energia são calculadas através de um modelo de simulação chamado Targets Image Energy Regional (TIMER). Este modelo é um sistema dinâmico com decisões de investimento em eficiência energética, geração de eletricidade e oferta de energia baseada na demanda antecipada que, por sua vez, está relacionada com os custos ou preços e atrasos institucionais e de informação. Mudanças tecnológicas e a dinâmica no preço dos combustíveis influenciam a intensidade energética, substituição de combustíveis e a entrada de opções de combustíveis não fósseis na matriz (eletricidade solar e biomassa).
- *Sistema de Ambiente Terrestre (TES)*: simula as mudanças no uso do solo e a sua cobertura e as emissões de GEE e os gases precursores do ozônio, e também os fluxos de carbono entre a biosfera e a atmosfera. Este sistema de modelo pode ser utilizado para avaliar: as políticas efetivas do uso do solo e controle da concentração dos GEE; as conseqüências no solo pelo uso em grande escala dos biocombustíveis; os impactos da mudança do clima nos ecossistemas e agricultura, e; os efeitos da população, economia e das tendências tecnológicas nas mudanças da cobertura do solo a nível mundial.
- *Sistema Atmosfera-Oceano (AOS)*: converte as concentrações atmosféricas das diferentes emissões de GEE e SO<sub>2</sub>, que seriam os dados de entrada do modelo, em forças radiativas dos GEE e aerossóis, e conseqüentemente nas mudanças da temperatura média mundial e na superfície da terra e nos oceanos.

---

<sup>15</sup> Para maiores informações sobre o modelo AIM, consultar o endereço <http://www-cger.nies.go.jp/ipcc/aim/>.

O **Modelo de Abordagem Multi-regional para Alocação de Recursos e Indústria (MARIA)**, é um modelo compacto de avaliação integrado que avalia as inter-relações entre a economia, energia, recursos, uso do solo e mudanças climáticas globais. Este modelo tem sido desenvolvido para avaliar as tecnologias e as opções políticas para direcionar o aquecimento global. O MARIA é um modelo de otimização intertemporal não-linear que trata com o comércio internacional entre 8 regiões do mundo. Este também engloba fluxos de energia e uma simplificada produção alimentar, e mudança no uso do solo para mostrar a contribuição potencial da biomassa (MORI, 2000). As atividades econômicas são representadas por uma elasticidade constante de substituição da função de produção com o estoque de capital, trabalho, eletricidade e um grupo de energia não elétrica para cada região. O crescimento futuro do PIB é projetado considerando tanto as taxas de crescimento potencial, a qual assume população e crescimento potencial do PIB *per capita*, bem como os custos e preços da energia determinados endogenamente.

O módulo energético neste modelo envolve três recursos fósseis de energia primária (carvão, gás natural e óleo), biomassa, energia nuclear, e tecnologias de energia renovável (hidrelétrica, solar, vento e geotérmico). A procura de energia é constituída pela indústria, transporte e outros usos públicos. Tecnologias de captura de carbono também são consideradas. O modelo MARIA gera basicamente perfis de exploração de recursos nos quais o Gás Natural é o principal utilizado na primeira metade do século XXI e subseqüentemente recursos livres de carbono, como solar, nuclear e biomassa assumem os principais papéis na segunda metade desse século. Os custos da energia no modelo, consistem da produção energética e custos de utilização. Os preços de mercado são determinados endogenamente com base no modelo de cálculo dos preços sombra. Entre vários parâmetros, os custos de extração dos combustíveis fósseis e o coeficiente de custos de conversão da energia contribuem, substancialmente, para determinar o modelo multi-energético e de emissões.

O **Modelo para Alternativas Estratégicas de Suprimento Energético e seu Impacto Ambiental Geral (MESSAGE)** faz parte de um conjunto de modelos integrados do *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA, Áustria). Os outros modelos utilizados para gerar estes cenários são o *Scenario Generator* (SG), *Macro-Economic Model* MACRO, e o *Model for the Assessment of Greenhouse Gas-Induced Climate Change* (MAGICC). O MESSAGE foi utilizado para todos os cenários marcadores do SRES e dentre os seis cenários ilustrativos, dois foram modelados com ele, o B2 e o A1T. As premissas para este modelo são de crescimento populacional e

econômico *per capita* por região, sendo a demanda de energia útil calculada usando-se o Modelo Gerador de Cenário (SG), que por sua vez se refere a um modelo dinâmico de evolução do desenvolvimento econômico e de energia. O SG usa um conjunto de equações de regressão estimadas, assim como conjuntos de dados econômicos e energéticos, podendo ajustar variáveis importantes de acordo com a “história de futuro” a ser projetada (GRITSEVSKI & GRUEBLER, 1998).

O modelo MESSAGE calcula estruturas de custos mínimos de abastecimento sob as restrições de disponibilidade de recursos, opções de tecnologias e demanda de energia. O MESSAGE é ligado ao modelo MACRO e usado em conjunto para testar a consistência do cenário, dado que eles correspondem a duas diferentes perspectivas de modelagem de energia que usualmente se realiza, sendo o MESSAGE um modelo *Bottom-up* e o MACRO um modelo *Top-down* (NAKICENOVIC, 1998). O MACRO maximiza a função intertemporal de utilidade de uma simples representação produtor-consumidor de cada região do mundo e estima as relações entre desenvolvimento macro-econômico e uso de energia (RIAHY & ROEHRL, 2000; SRES, 2000).

Os impactos da mudança no preço da demanda da energia e o crescimento do PIB são estimados repetindo os preços sombra do modelo MESSAGE e pela demanda de energia do modelo MACRO. Isto se faz até que as taxas da intensidade de energia e o crescimento do PIB sejam consistentes com as saídas do modelo SG adotado, como pressupostos exógenos de entrada no início do processo de formulação do cenário. As concentrações atmosféricas dos GEE e o resultado do potencial de aquecimento podem ser estimados pelo MAGICC. O grupo de modelos IIASA cobre somente as fontes de emissão do setor energético e industrial (SRES, 2000).

O **Modelo Mini de Avaliação Climática (MiniCAM)** estima as emissões globais de GEE com o modelo ERB (*Edmonds-Reilly-Barns Model*) e o modelo de agricultura, floresta e uso do solo. Utiliza o modelo MAGICC (*Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change*) para estimar as mudanças no clima, e as ferramentas do SCENGEN (*Regional Climate SCENario GENrator*)<sup>16</sup> para estimar as mudanças climáticas regionais. O MiniCAM também examina os impactos da mudança climática através de uma função de danos. Este modelo utiliza processos simples de produtividade trabalho/tempo da população para estimar os níveis agregados de produtividade de trabalho. A estimativa resultante do PIB é

---

<sup>16</sup> O SCENGEN constrói uma série de projeções de mudanças climáticas geograficamente explícitas para o mundo, usando os resultados do modelo MAGICC juntamente com as informações mudança climática a partir dos AOGCM. Outras informações sobre o modelo encontram-se disponíveis nos sítios: <http://sedac.ciesin.org/mva/>; <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/>

corrigida pelos impactos da mudança nos preços da energia usando a elasticidade PIB/energia (HULME *et al.*, 1995).

O ERB é um modelo de equilíbrio parcial que relaciona energia, economia e emissões de GEE, e que utiliza preços de energia para o seu balanço de oferta e demanda em sete principais categorias de energia primária (carvão, óleo, gás, hidro, solar e biomassa) em onze regiões cobertas do modelo. O módulo da demanda de energia inicialmente estima a demanda em função do preço e renda, isto para três categorias (residencial/comercial, industrial e transporte). Os serviços energéticos estão previstos para quatro combustíveis secundários (sólidos, líquidos, gasosos e elétricos). A demanda por estes combustíveis depende da sua relação com custos e da evolução das tecnologias de utilização final, representada pela melhoria da eficiência na utilização final de energia. A demanda pelos combustíveis primários é determinada pelos custos relativos de transformá-los para combustíveis secundários (EDMONDS *et al.* 1994, 1996).

As energias nuclear, solar e hidráulica são consumidas diretamente pelo setor elétrico, enquanto o carvão e a biomassa podem ser transformados em gás e líquido na hipótese de o petróleo e o gás natural se tornarem muito caros ou se esgotarem. A oferta energética fornece recursos renováveis e não renováveis. O custo dos recursos fósseis está relacionado com a base de recursos por grau, custo de produção (técnicos e ambientais), e pela capacidade histórica de produção. A biomassa é fornecida pelo setor agrícola e fornece a ligação entre os módulos da agricultura, floresta e uso do solo, além do módulo energético.

Uma vez que o modelo alcança o equilíbrio para um período, as emissões de GEE são computadas. Para energia, as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O refletem o uso de combustíveis fósseis pelo tipo de combustível. Os gases com alto potencial de aquecimento (CFCs, HFCs, HCFCs e PFCs) são estimados somente para cada categoria e não para seus componentes individuais. As emissões do enxofre são estimadas como função do uso de combustíveis fósseis e o controle do enxofre.

As emissões estimadas são agregadas num nível global e usadas como entradas no modelo MAGICC para produzir as estimações das concentrações de GEE, mudanças nas forças radioativas, e conseqüentemente na mudança da temperatura média global. Esta mudança na temperatura global é utilizada para conduzir ao SCENGEN derivado das mudanças nos padrões climáticos e produzir estimativas de mudanças regionais na temperatura, precipitações e nebulosidade. Finalmente, as mudanças na temperatura regional são utilizadas para estimar os

danos na base do mercado. Desenvolvendo funções de danos regionais que produz maiores danos do que aqueles desenvolvidos para regiões, refletindo a maior vulnerabilidade das regiões com baixa renda per capita (MANNE *et al.*, 1995).

A tabela 5 apresenta o conjunto completo de modelos utilizados nos cenários SRES, consolidando algumas informações pertinentes aos modelos supracitados com suas respectivas fontes da literatura, as instituições que os desenvolveram e o país de origem.

**Tabela 5: Modelos para o desenvolvimento dos 40 cenários SRES de emissão**

<b>Modelo</b>	<b>Instituição Responsável</b>	<b>Referências Base*</b>	<b>Origem</b>
<b>Modelo Integrado de Ásia Pacífico (AIM)</b> Em inglês: <i>Asian Pacific Integrated Model</i>	<i>Center for Global Environmental Research &amp; National Institute of Environmental Studies</i>	MORITA <i>et al.</i> (1994)	Japão
<b>Modelo Quadro de Estabilização Atmosférica (ASF)</b> Em inglês: <i>Atmospheric Stabilization Framework Model</i>	<i>ICF Consulting</i>	LASHOF & TIRPAK (1990); PEPPER <i>et al.</i> (1992, 1998); SANKOVSKI <i>et al.</i> (2000)	Estados Unidos da América (EUA)
<b>Modelo Integrado de Avaliação dos Efeitos dos Gases Estufa (IMAGE)</b> Em inglês: <i>Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect.</i> ⇒ Utilizado em conjunto com o Modelo de Sondagem Mundial (em inglês, <i>WorldScan Model</i> )	<i>National Institute for Public Health and Environmental Hygiene (RIVM)</i> (+) <i>Dutch Bureau for Economic Policy Analysis (CPB)</i>	ALCAMO <i>et al.</i> (1998) DE VRIES <i>et al.</i> (1994, 1999, 2000) DE JONG & ZALM (1991)	Holanda (+) Alemanha
<b>Abordagem Multi-regional para Alocação de Recursos e Indústria (MARIA)</b> Em inglês: <i>Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation</i>	<i>Science University of Tokyo</i>	MORI & TAKAHASHI (1999) MORI (2000)	Japão
<b>Modelo para Alternativas estratégicas de Suprimento Energético e seu Impacto Ambiental Geral (MESSAGE)</b> Em inglês: <i>Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact.</i>	<i>International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA)</i>	MESSNER & STRUBEGGER (1995) RIAHY & ROEHL (2000)	Áustria
<b>Modelo Mini de Avaliação Climática (MiniCAM)</b> Em inglês: <i>Mini Climate Assessment Model</i>	<i>Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)</i>	EDMONDS <i>et al.</i> (1994, 1996, 1996)	Estados Unidos da América (EUA)

Fonte: SRES (2000) e IPCC-TAR (2001).

Nota: (\*) Referências bibliográficas que serviram de base à equipe de especialistas, para a pesquisa e definição dos respectivos modelos na construção dos cenários SRES.

Estes seis modelos representam os enfoques dos cenários de emissões e os diferentes enquadramentos de avaliações utilizadas nos cenários da literatura, incluindo tanto o método macroeconômico (*Top-down*) como o de engenharia de sistemas (*Bottom-up* – de “baixo para cima”), ambos sendo complementares e tendo sido desenvolvidos pelo IPCC. No Quadro 4, segue detalhamento destas duas metodologias e suas aplicações na mensuração das emissões de GEE.

#### **Quadro 4: Metodologias *Top-down* e *Bottom-up***

A metodologias *Top-down* e *Bottom-up* são as duas abordagens básicas para analisar as relações entre a economia e setores específicos emissores de GEE, como o sistema energético. Os modelos que utilizam o método *Top-down* avaliam o conjunto de variáveis econômicas agregadas, enquanto os que utilizam o método *Bottom-up* consideram opções tecnológicas ou projetos específicos de políticas de mitigação das mudanças climáticas (IPCC-TAR, 2001).

O método *Top-down* reflete a maneira como os modeladores aplicam a teoria macroeconômica e técnicas econométricas para dados históricos sobre o consumo, preços, renda e custos de fatores para modelar a demanda final de bens e serviços, e o fornecimento dos principais setores (energia, transporte, agricultura, indústria, etc). Alguns críticos se queixam, no entanto, que os modelos agregados aplicados à política climática não capturam os detalhes necessários setoriais e respectiva complexidade da relação entre demanda e oferta. Eles argumentam que os modelos do setor de energia foram usados para explorar o potencial de um possível desacoplamento do crescimento econômico e demanda de energia, o que requer uma análise *Bottom-up* ou de desagregação de tecnologias energéticas. Por outro lado, os modelos *Top-down* são responsáveis por diversos setores industriais e tipos de uso, utilizando-se de muitas funções referentes à demanda de gastos domésticos a partir da reunião de “funções de demandas individuais”. Tais funções podem facilitar uma avaliação razoavelmente detalhada de instrumentos econômicos e impactos distributivos de políticas de mitigação das mudanças climáticas.

Modelos *Top-down* e *Bottom-up* também possuem diferentes premissas e expectativas sobre as melhorias de eficiência de tecnologias atuais e futuras. A modelagem *Bottom-up* mantém o foco na engenharia de ganhos de energia evidenciados a nível microeconômico e detalhada análise das dimensões técnicas e econômicas de opções políticas específicas. O foco setorial gera custos mais baixos em relação ao modelo *Top-down*, que contabiliza os ônus causados pelo aumento dos custos de produção e pelo baixo investimento em outros setores.

A diferença básica é que cada abordagem representa a tecnologia de uma forma fundamentalmente diferente. Os modelos *Bottom-up* trabalham a tecnologia no sentido da engenharia: relaciona uma determinada técnica de consumo de energia ou de abastecimento, com um dado desempenho técnico e de custos. Em contraste, o termo tecnologia em modelos *Top-down*, seja qual for a desagregação, é representado pela entrada de dados relacionados às ações de compra no consumo intermediário, na função de produção, no trabalho, capital e outros insumos. Estas ações constituem os ingredientes básicos da descrição econômica de uma tecnologia em que, dependendo da escolha da função de produção, as elasticidades determinarão o grau de permutabilidade entre as entradas de dados (SRES, 2000; IPCC-TAR, 2001).

Quanto à abordagem regional, os seis modelos contemplam diferentes agregações geográficas, tendo a equipe de especialistas decidido por agrupar as várias

regiões do globo em quatro “macro-regiões” comuns aos seis modelos de cenários utilizados. Esta agregação em macro-regiões, além de simplificar e não prejudicar a qualidade dos trabalhos, procurou preservar a consistência regional com a divisão dos países por atribuição da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 1997), embora a correspondência não seja exata por conta de mudanças nos países listados no Anexo I da UNFCCC. As quatro macro-regiões encontram-se dispostas da seguinte forma:

- **OECD90**: esta região congrega todos os países que pertencem à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) a partir de 1990, o ano base dos modelos participantes, e corresponde a países do Anexo II da UNFCCC (1992);
- **REF** (de “*reform*” *region*): região que compreende os países submetidos à reforma econômica e agrupa os países do Leste Europeu e dos Novos Estados Independentes da ex-União Soviética. Inclui os países do Anexo I, afora os do Anexo II conforme definido no UNFCCC<sup>17</sup>;
- **ASIA**: esta região representa todos os países em desenvolvimento (não-Anexo I) no continente asiático;
- **ALM** (acrônimo de “*Africa, Latin America and Middle West*”): compreende todo o resto do mundo e inclui todos os países da África, América Latina e Oriente Médio.

De modo geral, as regiões OECD90 e REF juntamente correspondem às economias desenvolvidas (isto é, países industrializados), enquanto os países das regiões da ÁSIA e ALM, juntamente correspondem aos países em desenvolvimento. As regiões OECD90 e REF são consistentes com os países do Anexo I da UNFCCC, enquanto que as regiões da Ásia e ALM correspondem aos países não-Anexo I. A lista completa dos países pelas respectivas macro-regiões de abrangência do SRES, encontra-se no Anexo 1.

Os seis modelos estimam as emissões de GEE e as mudanças no clima para diferentes regiões no mundo, porém, não obedecendo integralmente à divisão regional

---

<sup>17</sup> Os países Partes do Anexo I da UNFCCC são os países industrializados que eram membros da OCDE em 1992, mais os países com economias em transição, em particular, a Federação Russa, os Estados Bálticos e vários estados da Europa Central e Oriental, todos tendo compromissos com metas de reduções de emissões de GEE aos respectivos níveis de 1990, dentre outras atribuições previstas no Artigo 4.2 da Convenção. Já as Partes do Anexo II, compreendem os países membros da OCDE incluídos no Anexo I, mas não pertencentes às economias em transição. Em conformidade com o Artigo 4.3 da Convenção, estes devem oferecer recursos financeiros para permitir aos países em desenvolvimento empreender atividades de redução de emissões em conformidade com o disposto na UNFCCC e ajudá-los a adaptarem-se aos efeitos negativos das mudanças climáticas (UNFCCC, 1992).

supracitada, ou seja, os respectivos conjuntos de países cobertos por cada modelo são diferentes do conjunto assumido pela lógica regional do SRES. A tabela 6 apresenta a desagregação destas regiões para cada um dos seis modelos<sup>18</sup>.

Por fim, destaca-se pela tabela 7, a relação dos principais gases que foram considerados nas modelagens dos 40 cenários SRES. Estes foram dispostos segundo os seis modelos SRES e respectivas regiões: mundo e as quatro macro-regiões SRES (OECD90, REF, Ásia e ALM). Esta relação inclui os seguintes gases: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) – separando-se as emissões de fontes fósseis e não fósseis; metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), incluindo o dióxido sulfúrico (SO<sub>2</sub>); hidrofluorcarbonos (HFCs); perfluorcarbonos (PFCs); hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), monóxido de carbono (CO); óxidos nitrogenados (NO<sub>x</sub>), e; os compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOCs).

---

<sup>18</sup> Informações obtidas através do *Socioeconomic Data and Applications Center* (SEDAC), no sítio: [http://sres.ciesin.org/OpenProcess/htmls/Model\\_Descriptions.html](http://sres.ciesin.org/OpenProcess/htmls/Model_Descriptions.html).

**Tabela 6: Desagregação Regional dos seis modelos SRES**

Modelos SRES	Macro-Regiões SERES									
	REF	OECD90			ASIA			ALM		
<b>ASF</b>	Leste Europeu (Albânia, Bulgária, República Tcheca, Hungria, Polônia, Romênia) e Federação Russa	Europa Ocidental	América do Norte	Japão e Oceania	Sul e Oeste da Ásia	China e outros da Planície Central da Ásia	Planície Central Asiática	África	América Latina	Oriente Médio
<b>AIM</b>	Leste Europeu e Federação Russa	OECD Leste: Austrália, Japão, Nova Zelândia	OECD Oeste: Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Inglaterra, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça e Turquia.	EUA, Porto Rico e outros territórios dos EUA	Sudeste da Ásia: Afeganistão, Bangladesh, Bhutan, Índia, Indonésia, Malásia, Coréia do Sul, Burma, Paquistão, Filipinas, Singapura, Tailândia e outros da região		China e outros da Planície Central da Ásia: Laos, Mongólia, Coréia do Norte, Vietnam	África	América Latina	Oriente Médio
<b>IMAGE</b>	Leste Europeu e Federação Russa	OCDE Européia	Norte América	Japão e Oceania	Sul e Sudeste Asiático: Índia, Bangladesh, Butão, Índia, Myanmar, Nepal, Paquistão, Siri Lanka, Indonésia, República da Coréia, Malásia, Filipinas, Tailândia.			África	América Latina	Oriente Médio
<b>MARIA</b>	Leste Europeu e Federação Russa	OECD			Ásia			África	América Latina	Oriente Médio
<b>MESSAGE</b>	Leste Europeu e Federação Russa	Europa Ocidental	América do Norte		Ásia			Norte e África Sub-Sahariana	América Latina	Oriente Médio
<b>MiniCAM</b>	Leste Europeu e Federação Russa	Europa OCDE	América do Norte	Japão e Oceania	Planície Central Asiática			África	América Latina	Oriente Médio

Fonte: PETROBRAS (2011) & Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) / Center for International Earth Science Information Network (CIESIN). Informações obtidas através do sítio: [http://sres.ciesin.org/OpenProcess/htmls/Model\\_Descriptions.html](http://sres.ciesin.org/OpenProcess/htmls/Model_Descriptions.html). Consulta em 03 de setembro de 2012.

**Tabela 7: Relação dos gases tratados segundo modelos e macro-regiões SRES**

Modelos SRES	Mundo & Macro-Regiões SRES	Gases considerados para Cenarização das Emissões Antropogênicas										
		CO <sub>2</sub> Comb. Fósseis	CO <sub>2</sub> Outras Fontes	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>x</sub> *	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC
AIM	Mundo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	REF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	OECD90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Asia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ASF	Mundo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	REF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	OECD90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IMAGE	Mundo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	REF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	OECD90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MESSAGE	Mundo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	REF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	OECD90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MARIA	Mundo	✓	✓				✓	✓	✓			
	REF	✓	✓				✓	✓	✓			
	OECD90	✓	✓				✓	✓	✓			
	ASIA	✓	✓				✓	✓	✓			
	ALM	✓	✓				✓	✓	✓			
MiniCAM	Mundo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	REF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	OECD90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: SRES (2000) & PETROBRAS (2011), base de dados disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=164>. Nota: (\*) Inclui o dióxido sulfúrico (SO<sub>2</sub>).

## 2.5. O Java Climate Model (JCM)

O *Java Climate Model* (JCM), desenvolvido pelo climatologista Ben Matthews (MATTHEWS, 2011), tem como objetivo fazer projeções quanto à evolução futura de indicadores de impactos do efeito estufa, tais como a temperatura média global e a temperatura dos oceanos, em função de cenários do IPCC SRES.

Cabe destacar que a experiência aplicada nos últimos anos pelo Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG) com a utilização de modelagem climática, principiou-se com o desenvolvimento e aplicação do Modelo de Emissões Históricas da Mudança do Uso da Terra (IVIG, 2004), seguindo-se do modelo de ROSA & RIBEIRO (2001) que foi programado conforme a linguagem do software STELLA®, até a utilização do Java Climate Model (JCM), então em sua versão 5.0.

Neste trabalho, utilizou-se o Java Climate Model versão 5.0 (JCM5), finalizado em 11 de junho de 2011 (MATTHEWS, 2011). O JCM consiste em um modelo interativo de aplicação simplificada, que permite explorar as variantes do sistema climático e verificar como este pode ser alterado por influência de variáveis antrópicas que, uma vez combinadas a partir da definição de alguns parâmetros, resultam em estratos que variam dos diferentes fatores socioeconômicos aos impactos climáticos.

Os principais métodos de cálculo são calibrados para se ter consistência com os resultados do IPCC, aplicados de forma eficiente na linguagem Java, permitindo explorar diversos cenários, suas ligações de causa-efeito no sistema climático e a sensibilidade das projeções quanto às incertezas científicas e opções políticas.

Entre suas características, permite variações nos cenários e nos objetivos a serem atingidos, incorporando em seus cálculos as emissões resultantes da queima de combustíveis, de mudanças no uso da terra e da agropecuária, tratando também de outros GEE. Utiliza como base de informações e de dados instituições de renome e rigor científico, tais como:

- *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC);
- *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC);
- *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency* (PBL);
- *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO);
- *International Energy Agency* (IEA);
- *U.S. Energy Information Administration* (EIA);
- *Data Distribution Centre* (DDC-IPCC).

Embora o JCM trabalhe com dados em níveis nacionais, praticamente todos os cálculos são baseados em valores globais das principais variáveis. De forma compatibilizada ao SRES-IPCC, os dados de entrada dos cenários são informados segundo quatro grandes regiões, pertencendo o Brasil à Região ALM que, além da América Latina, compreende também a África e o Oriente Médio. Para individualizar as emissões por país, o JCM usa as proporções dos mesmos nas emissões regionais e totais, como refletidas pelos dados mais recentes, consistentes com os dados do CDIAC. Essas proporções são mantidas constantes, não havendo nenhuma previsão de comportamento diferenciado por país, no futuro.

Assim, variações nas emissões de um único país, na maioria dos casos, não afetam substancialmente as variáveis de nível mais alto. Esse é o caso do Brasil, quanto às emissões resultantes da queima de combustível, sendo o papel brasileiro relevante apenas no componente de variações no uso da terra (expansão da fronteira agrícola, desmatamento, etc.). Apenas os maiores emissores, principalmente a China e os EUA, podem afetar a temperatura mundial mediante variações nas próprias emissões. Isto se dá tanto no contexto do modelo JCM como no mundo real.

Para se estimar quais as trajetórias futuras que as emissões brasileiras devem assumir de acordo com o JCM, tanto na hipótese de nenhuma política de mitigação como na hipótese de diminuição global de emissões, é suficiente se projetar para nossas emissões a mesma trajetória de variação relativa prevista para as áreas maiores em que o Brasil está contido. Neste sentido, a hipótese considerada pelo JCM é que o Brasil se comporte como o conjunto de regiões geográficas a qual está inserido. Neste trabalho, considerou-se, portanto, a hipótese de comportamento das emissões do Brasil segundo a Região ALM, sendo que as projeções realizadas inicialmente com a utilização do JCM assumiram como parâmetros a hipótese de *no policy* e os cenários A1F e B2.

As atribuições e operacionalização do modelo JCM serão melhor trabalhados nos capítulos que nos quais a modelagem será aplicada.

### **3. DEMANDA DE COMBUSTÍVEIS E CENÁRIOS DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> – ABORDAGEM TOP-DOWN**

Para a construção da análise sobre as emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa (GEE) até 2030, do Setor de Energia no Brasil, foram escolhidos os cenários os A1FI e B2 do *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES - IPCC).

Foram comparados os dados de emissões do setor de energia no Brasil constantes nos bancos de dados do *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC), do Segundo Inventário Brasileiro e do Balanço Energético Nacional.

O Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2010), neste trabalho designado abreviadamente de “Segundo Inventário Brasileiro”, contém os dados oficiais de emissão do Brasil, e relaciona as emissões por tipo de combustível para o período de 1990 a 2005. Já o Balanço Energético Nacional (BEN), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (MME), reúne dados anuais (de 1970 a 2011) do consumo de energia primária e secundária por diversos setores econômicos, discriminados ainda de acordo com a fonte de energia utilizada, o que implica em detalhamento segundo o tipo de combustível. A partir do mesmo, podem ser inferidas as emissões por tipo de combustível, que se tornam assim comparáveis com as do Inventário nos anos de 1990 a 2005.

Como os dados de emissões nacionais do CDIAC estão discriminados em grupos segundo o estado físico dos combustíveis (sólido, líquido e gasoso), facilitam a comparação dos dados desagregados do Segundo Inventário Brasileiro ou do BEN com os dados agregados usados para as projeções do JCM, permitindo assim fazer projeções para a evolução das emissões em nível de combustível. Nestas, não se especula sobre variações futuras no mix de combustíveis, que quase certamente ocorrerão, presumindo-se, à falta de melhor hipótese, que as proporções de consumo mais recentes serão mantidas.

Com relação à queima de combustíveis, como o peso das emissões brasileiras no mundo é pequeno, variações na evolução das mesmas não terão grande impacto nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, ao contrário do que acontece na China e nos EUA. Apesar disso, o JCM pode ser bastante útil no planejamento econômico setorial e na avaliação de políticas públicas brasileiras, porque ele pode indicar tendências mundiais no estabelecimento de restrições às emissões que terão de ser seguidas por todos para se assegurar que as consequências danosas do efeito estufa não se materializem. Na medida em que o Brasil for estimulado ou coagido a seguir tais restrições, elas poderão ter um impacto no consumo de combustíveis, na produção de energia e no desenvolvimento econômico nacional.

### **3.1 Emissões de CO<sub>2</sub> relativas a combustíveis fósseis entre 1990 e 2008 no Brasil, constantes no banco de dados CDIAC inseridos no *Java Climate Model (JCM)***

O Centro de Análise e Informações sobre Dióxido de Carbono (CDIAC)<sup>19</sup>, que inclui o Centro Mundial de Dados sobre Gases Atmosféricos<sup>20</sup>, tem servido desde 1982 como o principal centro de dados e análise de informações sobre mudanças climáticas do Departamento de Energia dos EUA (DOE)<sup>21</sup>. É uma instituição ancorada na Divisão de Ciências Ambientais e Climáticas do Instituto de Biologia e Pesquisa Ambiental<sup>22</sup>, pertencente ao DOE, tendo como objetivo principal propiciar ao governo dos EUA e à comunidade de pesquisa mundial, informações sobre o aquecimento global e análise de dados no que se refere às questões energéticas e ambientais, concentrando esforços na obtenção, avaliação e distribuição de dados relacionados à mudança do clima e emissões de GEE.

O banco de dados do CDIAC compreende estimativas de emissões de dióxido de carbono provenientes do consumo de combustíveis fósseis e do uso da terra; registros de concentrações atmosféricas de dióxido de carbono e outros gases radiativamente ativos; ciclo do carbono e conjuntos de dados e análises do monitoramento terrestre do carbono; dados climáticos globais e regionais e séries temporais e análises de mudança do uso da terra.

Os dados de emissões anuais de dióxido de carbono constantes da base do CDIAC com referência ao Brasil, atualizados em setembro de 2011, cobrem o período de 1900 a 2008, último disponível até a conclusão dos trabalhos. Para as projeções de interesse deste estudo, foram consideradas apenas as emissões resultantes da queima de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, sendo desconsiderados os dados relativos à produção de cimento, à queima de resíduos gasosos em indústrias químicas e refinarias (*gas flaring*) e ao transporte internacional (*bunker fuels*)<sup>23</sup>.

As estatísticas do CDIAC para o Setor Energia foram compiladas principalmente a partir de relatórios anuais da Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNSD)<sup>24</sup> e complementado por publicações estatísticas nacionais oficiais. Em alguns casos, o CDIAC considera a possibilidade de que “os dados oficiais [sejam] complementados por outras

---

<sup>19</sup> *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC).

<sup>20</sup> *World Data Center for Atmospheric Trace Gases*.

<sup>21</sup> *U.S. Department of Energy* (DOE).

<sup>22</sup> *Climate and Environmental Sciences Division of the Office of Biological and Environmental Research*.

<sup>23</sup> *Bunker*, também conhecido como *marine fuel*, é um óleo combustível para navios em geral, podendo ser, em alguns casos, misturado ao óleo diesel em proporções variadas (EPE, 2008).

<sup>24</sup> *United Nations Statistics Division* (UNSD).

fontes e estimativas, sempre que estas tenham sido submetidas a uma análise profissional e [sejam] consistentes com outras fontes independentes” (ONU, 2012). A UNSD coleta estatísticas de energia de mais de 190 países, mantendo um banco de dados atualizado contendo informações para o período 1950-2009. Esta base contempla dados de produção, comércio, transformação e consumo final (utilização final) de uma série de produtos energéticos primários e secundários derivados de fontes de energia convencionais e não-convencionais ou renováveis.

### **CDIAC - Estrutura das informações relacionadas ao Brasil**

Considerando-se o ano de 1990 como ano base de análise, apresenta-se na tabela 8 a seguir, os dados das bases CDIAC e JCM que foram utilizados, ambos expressos em quilotoneladas de carbono (KtC) e convertidos para gigagramas de dióxido de carbono ( $GgCO_2$ )<sup>25</sup>, tendo sido aplicado o fator de conversão de carbono em dióxido de carbono ( $44/12$  ou aproximadamente 3,67), obtido pela razão entre a massa molecular do dióxido de carbono ( $CO_2$ ), igual a 44, e a massa atômica do carbono (C), igual a 12. O primeiro conjunto de colunas desta tabela contém a transcrição dos dados de emissões de  $GgCO_2$  pela Base CDIAC para o Brasil, referindo-se estes aos combustíveis gasosos, líquidos e sólidos, bem como àqueles que foram desconsiderados (acima referidos), classificados como “outros”. A última coluna da série CDIAC consolida, para cada ano do período de interesse da análise (1990-2008), o total das emissões provenientes de todas estas fontes.

Já os dados da Base JCM referem-se às emissões totais brasileiras extraídas diretamente do modelo JCM, versão de 11 de Junho de 2011, considerando-se a seleção das emissões de linha de base (*no-policy*) para combustíveis fósseis: “Regional Emissions - Baseline Scenario => Fossil  $CO_2$  Emissions Baseline”. No JCM, estas emissões regionais dependem das opções no cenário de linha de base (*no-policy*). Eles derivam principalmente dos cenários SRES, realizando-se a parametrização dos dados para um nível de escala mais detalhada (*downscaling*) - no caso nacional, daquele disponibilizado pelo IPCC por suas quatro macro-regiões. Os dados são então recombinaados para o conjunto da região escolhida e também consideram as informações mais recentes, e disponíveis oficialmente e de forma pública, de emissões e tendências para a referida região.

A última coluna se refere à comparação dos dados totais da Base CDIAC com os da Base JCM, traduzindo-se a diferença pela variação (%) para cada ano do intervalo de 1990 a 2008. Observa-se que há consistência, quase que total, entre as duas bases, uma vez que a maior variação computada no período foi de aproximadamente 2,4% (equivalente a 9.057

---

<sup>25</sup> Uma quilotonelada de dióxido de carbono ( $ktCO_2$ ) = um gigagrama de dióxido de carbono ( $GgCO_2$ ) = um milhar de tonelada de dióxido de carbono.

GgCO<sub>2</sub>) em 2008, sendo este ano e o de 2007 os únicos que apresentam as emissões pelo CDIAC superiores em termos absolutos às aquelas pelo JCM, distoando, portanto, do restante da série. Considerando-se a variação percentual média de todo o período, a mesma fica próxima a 0,01% (equivalente a 298 GgCO<sub>2</sub>) a favor da base CDIAC, valor considerado desprezível. Este fato demonstra consistência entre estas duas bases de dados com relação às emissões estimadas para o Brasil, mesmo considerando que o modelo JCM realize as projeções de emissões para o país com base na evolução dos dados globais e, mais especificamente, da Região ALM, na qual o país se insere.

**Tabela 8: Emissões anuais de dióxido de carbono (GgCO<sub>2</sub>) relativas a Combustíveis Fósseis no Brasil segundo os bancos de dados CDIAC e JCM**

Ano	Base CDIAC					Base JCM	Variação (%) CDIAC / JCM
	Gás	Líquido	Sólido	Outros	Total	Total	
1990	7.425	150.579	35.746	15.118	208.868	208.875	0,004%
1991	7.264	155.162	41.034	15.851	219.311	219.318	0,003%
1992	7.803	159.559	39.439	13.886	220.686	220.693	0,003%
1993	8.521	167.160	40.440	14.597	230.718	230.725	0,003%
1994	8.840	176.271	42.112	14.909	242.132	242.139	0,003%
1995	9.486	205.238	44.400	16.416	275.539	275.546	0,003%
1996	10.630	223.161	46.889	20.537	301.217	301.224	0,002%
1997	11.799	239.294	47.674	22.403	321.171	321.178	0,002%
1998	12.382	230.773	46.603	24.226	313.984	313.991	0,002%
1999	13.922	234.912	48.213	24.992	322.040	322.047	0,002%
2000	18.022	236.166	51.245	24.662	330.095	330.103	0,002%
2001	22.898	241.263	50.640	25.062	339.863	339.874	0,003%
2002	28.347	234.414	48.822	23.573	335.155	335.163	0,002%
2003	29.209	222.706	52.375	20.434	324.724	324.735	0,003%
2004	36.095	229.805	54.476	20.761	341.136	341.150	0,004%
2005	38.276	235.748	52.811	23.100	349.936	349.950	0,004%
2006	40.069	236.874	52.265	23.302	352.510	352.524	0,004%
2007	40.575	245.425	55.341	26.994	368.335	371.580	0,873%
2008	48.565	258.577	56.001	30.041	393.184	384.127	-2,358%
<b>Média no período (1990–2008) ==&gt;</b>							<b>-0,098%</b>

Fonte: JCM (2011), PETROBRAS (2011) e CDIAC (2012)

### **3.2. Comparação entre os dados de emissões brasileiras do CDIAC e do Segundo Inventário Brasileiro (disponível para os anos de 1990 a 2005)**

Como todos os países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), o Brasil, embora não faça parte do Anexo I da Convenção tendo a obrigatoriedade do cumprimento de metas de redução de emissões, ele assume alguns compromissos tais como o de desenvolver e atualizar de forma periódica o seu “Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros dos Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”, que compõe a segunda parte da Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC.

O Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antropogênicas de Gases de Efeito Estufa, compondo a 1ª Comunicação Nacional entregue à UNFCCC em 2004, apresentou informações referentes aos cinco anos entre 1990 e 1994. Já o Segundo Inventário, lançado em 2010, compondo a 2ª Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC, apresenta dados de emissões para os anos de 1990, 1994, 2000 e 2005.

Consoante o Setor Energia, no inventário são estimadas todas as emissões antrópicas devido à produção, à transformação e ao consumo energético, incluindo tanto as emissões resultantes da queima de combustíveis, quanto às emissões resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo. Para efeitos deste trabalho, visando a simplificação e, sobretudo, a compatibilização com informações de outras bases de dados, foram consideradas apenas as emissões de CO<sub>2</sub> por oxidação do carbono contido nos combustíveis fósseis durante a sua queima, seja para geração de outras formas de energia, como eletricidade, seja para consumo final. Neste sentido, foram desconsideradas as emissões de outros GEE ocorridas durante o processo de combustão (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub> e NMVOC).

Em função das informações disponibilizadas, as emissões do Setor Energia foram dispostas no Inventário seguindo-se a estrutura definida no Balanço Energético Nacional (BEN / EPE), semelhante, mas não idêntica, à estrutura sugerida pelo IPCC (MCTI, 2010).

Antes de se verificar a compatibilidade dos dados do Inventário Brasileiro e do Balanço Energético Nacional, cabe realizar uma breve comparação entre os resultados dos dois Inventários até então publicados. Isto porque, embora ambos tenham se valido da mesma base metodológica para o cálculo de emissões de gases estufa – apresentada pelo *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, no Inventário Inicial as emissões do segmento siderúrgico foram contabilizadas no Setor de Energia devido à falta de

informações que permitissem alocá-las corretamente ao consumo de determinados combustíveis no Setor Indústria. Conforme consta no Segundo Inventário (EPE, 2012), este ponto teria sido resolvido mediante “a possibilidade de se estimar de forma mais adequada as emissões da siderurgia provenientes do consumo de carvão mineral, coque de carvão mineral, gás natural e gás de coqueria, contabilizando-as no Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)”. O recálculo foi efetuado para o período completo de 1990 a 2005, mantendo consistente a série temporal (MCTI, 2010).

Esta alteração pode se referir em parte, ao fato de significativa parcela do consumo do carvão mineral ser direcionado para a produção no segmento de ferro gusa e aço, sobretudo para fabricação de produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como placas de aço, chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc. Este segmento, por exemplo, possui relativo peso no Setor Industrial quanto ao consumo de carvão metalúrgico no ano de 2005, como se verificará adiante a partir de dados verificados do Balanço Energético. O ponto é que se torna crescente o número de unidades siderúrgicas que adotam um sistema integrado de produção, dados que no Brasil, o mercado de minério tem se transformado cada vez mais em um mercado de aço, sendo a integração um fator importante para se ganhar competitividade.

A integração possibilita utilizar a transformação do carvão metalúrgico e derivados sólidos principalmente na geração de eletricidade, otimizando recursos físicos e financeiros. Isto torna-se relevante, uma vez que o carvão mineral utilizado para fabricação do coque e também diretamente nos processos de redução nas indústrias siderúrgicas, é em grande parte importado, dado que no Brasil apenas o carvão metalúrgico de Santa Catarina é classificado como “coqueificável”, mas em contrapartida, possui elevado teor de cinzas (18,5%) e de enxofre (1,5%).

Pela tabela 9 apresentam-se os resultados absolutos de emissões em gigagramas de dióxido de carbono ( $GgCO_2$ ), segundo combustíveis de origem fóssil em ambos os inventários e para todos os anos disponíveis, agrupando-os em subtotais para líquidos, sólidos e gasosos, de forma a efetuar posteriormente a comparação direta com os dados aferidos da Base CDIAC. Segundo os resultados do 2º Inventário, em 2005, o total das emissões antrópicas de combustíveis fósseis foi de 299.941  $GgCO_2$ , tendo-se verificado uma evolução da ordem de 74% no período de 1990 a 2005 – vide a tabela 10, que apresenta a distribuição e variação percentuais das Emissões de  $CO_2$ .

Os combustíveis líquidos foram responsáveis pela maior parcela (78,4% em 2005) das emissões de  $CO_2$  em todos os anos disponíveis no período de 1990 a 2005, e em ambas as séries de dados (1º e 2º Inventários). Em termos absolutos, estes combustíveis

também foram responsáveis pelo maior incremento nas emissões de fósseis neste período de quinze anos: 81.504 GgCO<sub>2</sub>.

O combustível que mais contribuiu para este resultado foi o óleo diesel, cuja participação do total das emissões de fósseis alcançou a máxima na série do 2º Inventário, com 38,3% em 1990, fechando com 35% em 2005. No período, o óleo diesel teve o nível de emissões elevado em 59,3%, equivalente a 39.178 GgCO<sub>2</sub>, praticamente a metade da evolução do total de líquidos. Outro líquido que também apresentou importante evolução foi a gasolina automotiva, com 82,2% no mesmo período, equivalendo a um incremento de 17.691 GgCO<sub>2</sub>, resultado, porém, que não significou nem a metade do crescimento das emissões de diesel. Por outro lado, o óleo combustível registrou queda de pouco mais de 29% de suas emissões de CO<sub>2</sub> no período analisado.

O segundo combustível que mais contribuiu para as emissões de CO<sub>2</sub> foi o gás natural seco com elevação em 34.123 GgCO<sub>2</sub> no período, sendo responsável por 13,1% do total das emissões em 2005, já superando as emissões da gasolina automotiva em 247 GgCO<sub>2</sub>. A utilização do gás natural tem sido crescente no país, seja como insumo para a indústria Gasoquímica (similar à Petroquímica), seja como combustível substituto a outros fósseis como o óleo combustível na geração de eletricidade, e a gasolina/diesel em transportes. A disseminação do seu uso em motores de combustão interna - veículos leves e pesados, o fácil manuseio e o efeito ambiental limitado de sua queima, contribuem para a maior adoção deste combustível. Estes resultados vêm de encontro ao resultado de consumo por fontes tal como apresentado no Segundo Inventário (MCTI, 2010), o qual indica que o segmento de transportes, sobretudo rodoviário, tem sido o principal responsável pela elevação das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de combustíveis fósseis.

De forma a evidenciar as diferenças provenientes dos ajustes realizados e seguindo a mesma estruturação, a Tabela 11 apresenta o saldo e variação (%) das emissões dos respectivos combustíveis fósseis (em GgCO<sub>2</sub>) pelos dois únicos anos passíveis de comparação (1990 e 1994) entre o 1º e 2º Inventário Brasileiro de Emissões de GEE. Observa-se que dos vinte e um combustíveis fósseis considerados (primários e secundários), verificou-se saldo negativo em onze deles, cabendo ao Coque de Carvão Mineral a maior disparidade: queda de 22.035 GgCO<sub>2</sub> em 1990 e de 28.830 GgCO<sub>2</sub> em 1994.

Mesmo que não representem volume to expressivos, chama também a atenção a significativa variação da Nafta e de Outras Primárias Fósseis, que apresentaram para ambos os anos diferenças que superam os 20% e os 39%, respectivamente.

Apesar destas diferenças, se prevê que seja fundamentalmente os ajustes nas emissões concernentes à siderurgia, comentados anteriormente, o motivo da significativa variação no Segundo Inventário com relação ao total das emissões de combustíveis fósseis, tanto em 1990 (-12,93%) como em 1994 (-14,34%), ou seja, valores que sintetizam uma mudança importante na mensuração das emissões de gases provenientes do setor energético para os anos subseqüentes, bem como a definição de uma plataforma menor (no caso, em 2005) para a projeção setorial das metas voluntárias de emissões brasileiras em 2020.

**Tabela 9: Emissões de dióxido de carbono (em GgCO<sub>2</sub>) por combustível segundo os anos de abordagem de cada Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE**

Combustível	Emissões de CO <sub>2</sub> (Gg)								
	1º Inventário Brasileiro					2º Inventário Brasileiro			
	1990	1991	1992	1993	1994	1990	1994	2000	2005
Gasolina	21.479	23.276	23.176	24.367	26.674	21.361	26.526	38.092	39.052
Gasolina de Aviação (GAV)	141	130	112	127	150	145	154	173	127
Querosene de Aviação (QAV)	5.677	5.960	5.616	5.920	6.054	3.358	3.609	5.104	5.248
Querosene Iluminante	568	550	480	413	364	568	365	166	74
Óleo Diesel	65.680	68.336	70.163	72.109	75.067	66.053	75.123	95.199	105.231
Óleo Combustível	32.869	31.089	33.270	35.392	36.366	32.921	36.425	37.113	23.315
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	14.445	14.773	15.540	15.701	16.012	14.443	16.007	20.504	18.616
Nafta	2.982	2.903	3.166	3.270	3.693	3.768	4.665	6.157	5.530
Lubrificantes	1.067	1.026	853	937	978	1.059	972	1.249	1.300
Outros Prod. Sec. de Petróleo	2.894	2.738	3.222	3.209	3.911	2.918	3.629	6.674	6.534
Gás de Refinaria	4.126	4.623	4.748	4.948	5.302	4.350	5.879	7.862	10.371
Coque de Petróleo	1.574	1.685	1.552	1.664	2.183	1.634	2.266	13.865	15.968
Outras Primárias Fósseis	630	685	729	795	585	1.043	967	2.874	3.759
<b>Subtotal Líquidos</b>	<b>154.132</b>	<b>157.774</b>	<b>162.627</b>	<b>168.852</b>	<b>177.339</b>	<b>153.621</b>	<b>176.587</b>	<b>235.032</b>	<b>235.125</b>
Carvão Vapor	7.634	9.498	8.052	7.129	7.650	7.549	7.526	10.261	4.592
Carvão Metalúrgico				685	1.031	0	1.003	9.635	12.302
Alcatrão	660	840	996	1.021	918	667	929	531	352
Coque de Carvão Mineral	22.904	27.458	27.840	29.439	30.012	869	1.182	1.959	1.567
<b>Subtotal Sólidos</b>	<b>31.198</b>	<b>37.796</b>	<b>36.888</b>	<b>38.274</b>	<b>39.611</b>	<b>9.085</b>	<b>10.640</b>	<b>22.386</b>	<b>18.813</b>
Gás Natural (seco)	6.363	6.374	6.974	7.725	7.945	5.176	8.479	16.448	39.299
Gás Natural (úmido)						1.825	139	3.018	4.711
Gás Canalizado	566	568	507	468	302	749	363	199	0
Gás de Coqueria	5.711	6.062	6.176	6.417	6.211	1.916	2.014	2.004	1.994
<b>Subtotal Gasosos</b>	<b>12.640</b>	<b>13.004</b>	<b>13.657</b>	<b>14.610</b>	<b>14.458</b>	<b>9.666</b>	<b>10.995</b>	<b>21.669</b>	<b>46.004</b>
<b>TOTAL</b>	<b>197.972</b>	<b>208.573</b>	<b>213.170</b>	<b>221.734</b>	<b>231.408</b>	<b>172.371</b>	<b>198.222</b>	<b>279.088</b>	<b>299.941</b>

Fonte: MCTI (2004, 2006 e 2012).

**Tabela 10: Distribuição (%) e variação (%) das emissões de dióxido de carbono (em GgCO<sub>2</sub>) por combustível segundo os anos de abordagem de cada Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE**

Combustível	Distribuição (%) e Variação (%) das Emissões de CO <sub>2</sub> (Gg)										
	1º Inventário Brasileiro					Variação (%) 1990-1994	2º Inventário Brasileiro				Variação (%) 1990-2005
	1990	1991	1992	1993	1994		1990	1994	2000	2005	
Gasolina	10,8%	11,2%	10,9%	11,0%	11,0%	24,2%	12,4%	13,4%	13,6%	13,0%	82,8%
Gasolina de Aviação (GAV)	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	6,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	-12,4%
Querosene de Aviação (QAV)	2,9%	2,9%	2,6%	2,7%	2,7%	6,6%	1,9%	1,8%	1,8%	1,7%	56,3%
Querosene Iluminante	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	-35,9%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	-87,0%
Óleo Diesel	33,2%	32,8%	32,9%	32,5%	32,5%	14,3%	38,3%	37,9%	34,1%	35,1%	59,3%
Óleo Combustível	16,6%	14,9%	15,6%	16,0%	16,0%	10,6%	19,1%	18,4%	13,3%	7,8%	-29,2%
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	7,3%	7,1%	7,3%	7,1%	7,1%	10,8%	8,4%	8,1%	7,3%	6,2%	28,9%
Nafta	1,5%	1,4%	1,5%	1,5%	1,5%	23,8%	2,2%	2,4%	2,2%	1,8%	46,8%
Lubrificantes	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	-8,3%	0,6%	0,5%	0,4%	0,4%	22,8%
Outros Prod. Sec. de Petróleo	1,5%	1,3%	1,5%	1,4%	1,4%	35,1%	1,7%	1,8%	2,4%	2,2%	123,9%
Gás de Refinaria	2,1%	2,2%	2,2%	2,2%	2,2%	28,5%	2,5%	3,0%	2,8%	3,5%	138,4%
Coque de Petróleo	0,8%	0,8%	0,7%	0,8%	0,8%	38,7%	0,9%	1,1%	5,0%	5,3%	877,2%
Outras Primárias Fósseis	0,3%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	-7,1%	0,6%	0,5%	1,0%	1,3%	260,4%
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>77,9%</b>	<b>75,6%</b>	<b>76,3%</b>	<b>76,2%</b>	<b>76,2%</b>	<b>15,1%</b>	<b>89,1%</b>	<b>89,1%</b>	<b>84,2%</b>	<b>78,4%</b>	<b>53,1%</b>
Carvão Vapor	3,9%	4,6%	3,8%	3,2%	3,2%	0,2%	4,4%	3,8%	3,7%	1,5%	-39,2%
Carvão Metalúrgico	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%	-	0,0%	0,5%	3,5%	4,1%	-
Alcatrão	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%	39,1%	0,4%	0,5%	0,2%	0,1%	-47,2%
Coque de Carvão Mineral	11,6%	13,2%	13,1%	13,3%	13,3%	31,0%	0,5%	0,6%	0,7%	0,5%	80,3%
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>15,8%</b>	<b>18,1%</b>	<b>17,3%</b>	<b>17,3%</b>	<b>17,3%</b>	<b>27,0%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,4%</b>	<b>8,0%</b>	<b>6,3%</b>	<b>107,1%</b>
Gás Natural (seco)	3,2%	3,1%	3,3%	3,5%	3,5%	24,9%	3,0%	4,3%	5,9%	13,1%	659,3%
Gás Natural (úmido)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		1,1%	0,1%	1,1%	1,6%	158,1%
Gás Canalizado	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	-46,6%	0,4%	0,2%	0,1%	0,0%	-100,0%
Gás de Coqueria	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	8,8%	1,1%	1,0%	0,7%	0,7%	4,1%
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>6,4%</b>	<b>6,2%</b>	<b>6,4%</b>	<b>6,6%</b>	<b>6,6%</b>	<b>14,4%</b>	<b>5,6%</b>	<b>5,5%</b>	<b>7,8%</b>	<b>15,3%</b>	<b>375,9%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>17%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>74%</b>

Fonte: MCTI (2004, 2006 e 2012).

**Tabela 11: Saldo e variação (%) das emissões de combustíveis fósseis (GgCO<sub>2</sub>) por anos comparáveis do 1º e 2º Inventário Brasileiro de Emissões de GEE**

Combustível	Saldo (GgCO <sub>2</sub> )		Variação (%)	
	1990	1994	1990	1994
Gasolina	-118	-148	-0,55%	-0,56%
Gasolina de Aviação (GAV)	4	4	2,76%	2,60%
Querosene de Aviação (QAV)	-2.319	-2.445	-69,06%	-67,75%
Querosene Iluminante	0	1		0,27%
Óleo Diesel	373	56	0,56%	0,07%
Óleo Combustível	52	59	0,16%	0,16%
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	-2	-5	-0,01%	-0,03%
Nafta	786	972	20,86%	20,84%
Lubrificantes	-8	-6	-0,76%	-0,62%
Outros Prod. Sec. de Petróleo	24	-282	0,82%	-7,77%
Gás de Refinaria	224	577	5,15%	9,81%
Coque de Petróleo	60	83	3,67%	3,66%
Outras Primárias Fósseis	413	382	39,60%	39,50%
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>-511</b>	<b>-752</b>	<b>-0,33%</b>	<b>-0,43%</b>
Carvão Vapor	-85	-124	-1,13%	-1,65%
Carvão Metalúrgico	0	-28		-2,79%
Alcatrão	7	11	1,05%	1,18%
Coque de Carvão Mineral	-22.035	-28.830	-2535,67%	-2439,09%
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>-22.113</b>	<b>-28.971</b>	<b>-70,88%</b>	<b>-73,14%</b>
Gás Natural (seco)	-1.187	534	-18,65%	6,72%
Gás Natural (úmido)	1.825	139		
Gás Canalizado	183	61	32,33%	20,20%
Gás de Coqueria	-3.795	-4.197	-66,45%	-67,57%
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>-2.974</b>	<b>-3.463</b>	<b>-23,53%</b>	<b>-23,95%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>-25.601</b>	<b>-33.186</b>	<b>-12,93%</b>	<b>-14,34%</b>

Fonte: MCTI (2004, 2006 e 2012).

### 3.3. O Balanço Energético Nacional: estrutura, classificação das fontes de energia e estimativa das respectivas emissões de GEE em 1990 e 2005

O Balanço Energético Nacional (BEN) é estruturado e publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME). É considerado um documento de grande importância para o planejamento e acompanhamento do setor energético nacional, contendo a contabilidade relativa à oferta e consumo de energia no Brasil, bem como dos processos de conversão de produtos energéticos e de comércio exterior. Contempla as séries históricas anuais dessas operações desde o ano de 1970, expressas em unidades comerciais, além das informações sobre reservas, capacidades instaladas e importantes dados estaduais.

Para a elaboração do BEN, a EPE conta com a colaboração de aproximadamente oitocentos agentes, empresas e entidades que, de forma direta ou indireta, contribuem com dados e informações para a elaboração do balanço. No âmbito de interesse do presente trabalho e com referência aos dados para petróleo e derivados, gás natural e xisto, foram utilizados dados e informações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), as Companhias Distribuidoras de Derivados e as entidades de classe e grandes indústrias. Já com relação ao carvão mineral, os dados provieram do Sindicato Nacional da Indústria de Extração do Carvão e de Grandes Indústrias. Dentre outras fontes correlatas, pode-se destacar a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras), o Operador Nacional do Sistema (ONS).

Segundo informações do último Balanço Energético (EPE, 2012), a **Energia Primária** se refere aos produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, tais como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica, etc. Na classificação do BEN, esta categoria se subdivide em “Fontes de Energia Primária” e “Outras Fontes Primárias”.

Já a **Energia Secundária** se refere aos produtos energéticos resultantes dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação. A tabela 12 discrimina a classificação e respectivas identificações de cada uma destas fontes.

**Tabela 12: Classificação das Fontes Primárias e Secundárias**

<b>Fontes de Energia Primária</b>	
<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>
Fontes de Energia Primária	Petróleo, Gás Natural, Carvão Vapor, Carvão Metalúrgico, Urânio, Energia Hidráulica, Lenha e Produtos da Cana (Melaço, Caldo-de-Cana e Bagaço).
Outras Fontes Primárias	Resíduos Vegetais e Industriais para Geração de Vapor, Calor e Outros.
<b>Fontes de Energia Secundária</b>	
<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>
Fontes de Energia Secundária	Óleo Diesel, Óleo Combustível, Gasolina (Automotiva e de Aviação), GLP, Nafta, Querosene (Iluminante e de Aviação), Gás (de Cidade e de Coqueria), Coque de Carvão Mineral, Urânio contido no dióxido de urânio (UO <sub>2</sub> ) dos Elementos Combustíveis, Eletricidade, Carvão Vegetal, Álcool Etílico, (Anidro e Hidratado) e Outras Secundárias de Petróleo (Gás de Refinaria, Coque e Outros).
Produtos Não-Energéticos do Petróleo	Derivados de Petróleo que, mesmo tendo significativo conteúdo energético, são utilizados para outros fins (Graxas, Lubrificantes, Parafinas, asfaltos, Solventes e Outros).
Alcatrão	Alcatrão obtido na transformação do Carvão Metalúrgico em Coque.

Fonte: EPE (2012).

Consoante à estrutura do Balanço Energético vale especificar o Consumo Final de energia, parte na qual se detalham os dados de diferentes setores da atividade sócioeconômica do país. Consiste no somatório de Consumo Final Não-energético e Consumo Final Energético, este último se referindo a alguns dados a serem utilizados neste trabalho e que se encontram distribuídos pelos seguintes setores:

- Setor Energético: energia consumida nos Centros de Transformação<sup>26</sup> e/ou nos processos de extração e transporte interno de Produtos Energéticos, na sua forma final;

<sup>26</sup> Centros de transformação - Unidades onde a energia que entra (primária e/ou secundária) se transforma em uma ou mais formas de energia secundária: Refinarias de Petróleo, Plantas de Gás Natural, Usinas de Gaseificação, Coquerias, Ciclo do Combustível Nuclear, Centrais Elétricas de Serviço Público e Autoprodutoras, Carvoarias e Destilarias.

- Setor Residencial: Energia consumida no Setor Residencial, em todas as classes;
- Setor Comercial: Energia consumida no Setor Comercial, em todas as classes;
- Setor Público: Energia consumida no Setor Público, em todas as classes;
- Setor Agropecuário: Energia total consumida nas classes Agricultura e Pecuária;
- Setor de Transportes (total): Energia consumida no Setor Transportes, englobando os segmentos rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário e;
- Setor Industrial (total): Energia consumida no setor industrial, englobando os segmentos cimento, ferro-gusa e aço, ferroligas, mineração e pelotização, não-ferrosos e outros da metalurgia, química, alimentos e bebidas, têxtil, papel e celulose, cerâmica e outros.

Segundo EPE (2012), esta classificação de consumo setorial do BEN segue o Código de Atividades da Receita Federal (Portarias nº 907, de 28 de agosto de 1989, e nº 962, de 29 de dezembro de 1987 - DOU de 31/12/87 – Seção I), ocorrendo mais recentemente o processo de coleta e tratamento dos dados de ajuste à atual Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir deste tratamento dos dados poder-se-á viabilizar um maior refinamento das informações e maiores possibilidades de análises setoriais e de caráter socioeconômicas.

De forma a se verificar como cada combustível é abordado no Segundo Inventário de Emissões (MCTI, 2010) e no último Balanço Energético disponível (EPE, 2012), bem como as respectivas compatibilizações, apresenta-se pela tabela 13 algumas especificações visando esclarecer a forma de entrada das fontes de energia consideradas na análise. Nesta tabela foram detalhadas também algumas terminologias tal como apresentadas nestes documentos, no intuito de se verificar de que maneira cada combustível foi classificado em ambas as fontes. Vale frisar que os dados de oferta e consumo de energia apresentados no Inventário, tiveram como um das principais fontes o próprio Balanço Energético Nacional, valendo-se, portanto, das especificações e, em parte, das terminologias adotadas por este para os cálculos das emissões de gases estufa.

**Tabela 13: Comparação entre terminologias dos combustíveis adotados no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e no Balanço Energético Nacional, ano base 2011**

<b>Terminologia e Especificações adotadas para os Combustíveis de Origem Fóssil</b>	
<b>Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE (MCTI, 2010)</b>	<b>Balanço Energético Nacional / ano base 2011 (EPE, 2012)</b>
<b>Gasolina Automotiva</b>	<p><b>Gasolina Automotiva</b></p> <p>⇒ Combustível apropriado para motores de combustão interna com ignição por centelha, em motores que usam o ciclo Otto, automóveis de passageiros, utilitários, veículos leves, lanchas e equipamentos agrícolas. No BEN, a contabilização da gasolina refere-se exclusivamente ao tipo “A”, sem adição de álcool anidro.</p> <p>Densidade: 740 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 11.220 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 10.400 kcal/kg</p>
<p><b>Gasolina de Aviação</b></p> <p>⇒ O emprego de gasolina de aviação se restringe a pequenas aeronaves, com motor a pistão e de alcance limitado.</p> <p>⇒ Não foram considerados o consumo de gasolina de aviação em voos internacionais e o consumo de combustível do tráfego internacional relacionado às atividades de táxi aéreo e serviços aéreos especializados, ambos de volumes desprezíveis.</p>	<p><b>Gasolina de Aviação</b></p> <p>⇒ Gasolina empregada em aviões com motores tipo pistão. Possui elevado índice de octano (80 a 145) e ponto de congelamento igual a -60 °C.</p> <p>Densidade: 720 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 11.290 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 10.600 kcal/kg</p>
<b>Querosene de Aviação (QAV)</b>	<p><b>Querosene de Aviação (QAV)</b></p> <p>⇒ Combustível utilizado em turbinas de aviões e helicópteros.</p> <p>Densidade: 799 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 11.090 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 10.400 kcal/kg</p>
<b>Querosene Iluminante</b>	<p><b>Querosene Iluminante</b></p> <p>⇒ Originalmente usado como combustível para lamparinas e fogões e atualmente utilizado principalmente para outros fins, a exemplo de uso industrial não energético, como solvente.</p> <p>Densidade: 799 kg/m<sup>3</sup></p>

	<p>Poder calorífico superior: 11.090 kcal/kg  Poder calorífico inferior: 10.400 kcal/kg</p>
<b>Óleo Diesel</b>	<p><b>Óleo Diesel</b></p> <p>⇒ Óleo diesel é a fração do petróleo composta principalmente por hidrocarbonetos alifáticos. É ligeiramente mais denso que o querosene e destila na faixa entre 250 °C e 400 °C. É utilizado como combustível em motores Diesel, nos quais a ignição ocorre pelo aumento da temperatura ao invés de faíscação.</p> <p>Densidade: 840 kg/m<sup>3</sup>  Poder calorífico superior: 10.750 kcal/kg  Poder calorífico inferior: 10.100 kcal/kg</p>
<b>Óleo Combustível</b>	<p><b>Óleo Combustível</b></p> <p>⇒ Todo e qualquer óleo residual de alta viscosidade, obtidos do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados com óleos residuais de refinaria. Este é utilizado como combustível pela indústria, em equipamentos destinados a geração de calor, fornos, caldeiras e secadores, ou em equipamentos destinados a produzir trabalho a partir de uma fonte térmica. No BEN, considera-se ainda o óleo combustível obtido a partir do processamento do xisto.</p> <p>Densidade: 1.000 kg/m<sup>3</sup>  Poder calorífico superior: 10.085 kcal/kg  Poder calorífico inferior: 9.590 kcal/kg</p>
<b>Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)</b>	<p><b>Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)</b></p> <p>⇒ GLP é considerado a mistura de hidrocarbonetos líquidos obtidos do gás natural através do processamento nas UPGNs<sup>27</sup>, ou em processo convencional nas refinarias de petróleo. Conhecido como “gás de cozinha”, sendo composto por propano e butano. Sua aplicação principal é na cocção de alimentos, sendo também utilizado em empilhadeiras, soldagem, esterilização industrial, teste de fogões, maçaricos e outras aplicações</p>

<sup>27</sup> Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) é a instalação industrial que objetiva realizar a separação das frações mais pesadas (propano e mais pesados), existentes no gás natural, do metano e do etano, gerando GLP e gasolina natural (C5+). A gasolina natural é uma mistura de hidrocarbonetos que se encontra na fase líquida, em determinadas condições de pressão e temperatura, composta de pentano (C5) e outros hidrocarbonetos pesados, podendo ser misturada à gasolina para especificação, reprocessada ou adicionada à corrente do petróleo (EPE, 2008).

	<p><i>industriais.</i></p> <p>Densidade: 552 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 11.750 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 11.100 kcal/kg</p>
<b>Nafta</b>	<p><b>Nafta</b></p> <p>⇒ <i>Derivado de petróleo utilizado principalmente como matéria prima da indústria petroquímica (“nafta petroquímica” ou “nafta não-energética”) na produção de eteno e propeno, além de outras frações líquidas, como benzeno, tolueno e xilenos. A nafta energética é utilizada para geração de gás de síntese através de um processo industrial. A nafta é utilizada, ainda, na produção do gás canalizado.</i></p> <p>Densidade: 702 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 11.320 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 10.630 kcal/kg</p>
<b>Lubrificantes</b>	<p><b>Lubrificantes</b></p> <p>Densidade: 702 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 11.320 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 10.630 kcal/kg</p>
<b>Alcatrão</b>	<p><b>Alcatrão</b></p> <p>Densidade: 1.000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Poder calorífico superior: 9.000 kcal/kg</p> <p>Poder calorífico inferior: 8.550 kcal/kg</p>
<p><b>Gás Natural (Úmido)</b></p> <p>⇒ <i>Gás natural úmido é o que entra nas UPGNs contendo hidrocarbonetos pesados e comercialmente recuperáveis sob a forma líquida (Líquido de Gás Natural - LGN).</i></p>	<p><b>Gás Natural</b></p> <p>Densidade: ( - )</p> <p>Poder calorífico superior: 10.454 kcal/kg (úmido) e 9.256 kcal/kg (seco)</p> <p>Poder calorífico inferior: 9.930 kcal/kg (úmido) e 8.800 kcal/kg (seco)</p>
<p><b>Gás Natural (Seco)</b></p> <p>⇒ <i>Gás natural seco é produto do processamento do gás úmido, o qual não contém líquidos comercialmente recuperáveis.</i></p>	
<p><b>Gás Canalizado</b></p> <p>⇒ <i>Gás produzido através da nafta, consumido predominantemente pelo setor</i></p>	<b>Gás de Cidade e de Coqueria</b>

<i>residencial. É distribuído nos grandes centros urbanos, através das redes de distribuição das companhias estaduais de gás. Embora a cidade do Rio de Janeiro ainda possua distribuição de gás canalizado obtido através de transformações, a fonte primária é o gás natural, razão pela qual todo o gás distribuído nesta cidade atualmente seja computado como gás natural.</i>	Densidade: ( - ) Poder calorífico superior: 4.500 kcal/kg (Coqueria), 3.900 kcal/kg (Canalizado Rio de Janeiro) e 4.700 kcal/kg (Canalizado São Paulo). Poder calorífico inferior: 4.300 kcal/kg (Coqueria), 3.800 kcal/kg (Canalizado Rio de Janeiro) e 4.500 kcal/kg (Canalizado São Paulo).
<b>Gás de Coqueria</b>	
<b>Gás de Refinaria</b>	<b>Outras Secundárias de Petróleo</b>
<b>Coque de Petróleo</b>	<i>⇒ Outros energéticos de petróleo, no âmbito do BEN, incluem coque de petróleo e diversos produtos comercializados pela Petrobras, dentre os quais cita-se propano, óleo leve para turbina elétrica, gás de refinaria, coque e outros.</i>
<b>Outros Energéticos de Petróleo</b>	Densidade: 872 kg/m <sup>3</sup> Poder calorífico superior: 10.800 kcal/kg Poder calorífico inferior: 10.200 kcal/kg
<b>Carvão Vapor</b>	<b>Carvão Vapor</b> <i>⇒ Carvão Vapor: Carvão não coqueificável utilizado nas caldeiras para a produção de energia térmica ou vapor.</i>
<b>Carvão Metalúrgico</b>	<b>Carvão Metalúrgico</b> <i>⇒ Carvão com propriedades coqueificantes, utilizado como matéria-prima na fabricação de coques para altos fornos siderúrgicos. Os carvões metalúrgicos de boa qualidade possuem baixo teor de cinzas.</i> Densidade: 872 kg/m <sup>3</sup> Poder calorífico superior: 10.800 kcal/kg Poder calorífico inferior: 10.200 kcal/kg
<b>Coque de Carvão Mineral</b>	<b>Coque de carvão mineral</b> <i>⇒ Coqueificação: é um processo pelo qual o carvão mineral, ao ser submetido a temperaturas elevadas na ausência de oxigênio, libera os gases presentes em sua estrutura, originando um material sólido poroso e infusível, que é o coque.</i>
<b>Outras Fontes Primárias Fósseis</b>	<b>Outras Fontes Primárias</b>

Fonte: EPE (2008, 2012) & MCTI (2004, 2006 e 2010).

Uma vez que o Balanço Energético é o documento que consolida as principais (e mais precisas) informações de oferta e consumo brasileiro de combustíveis, realizou-se os cálculos das emissões de dióxido de carbono a partir dos dados de consumo final para os anos de 1990 e 2005, anos inicial e final das séries de dados do Segundo Inventário Brasileiro. Esses resultados servirão para a comparação das emissões retratadas nos dois Inventários para cada combustível ou grupo de combustíveis, consoante as respectivas correspondências. Na intenção de também se efetivar a comparação com a Base CDIAC, estes dados serão organizados conforme o estado físico de cada um (líquido, sólido, gasoso), dado que este é o maior nível de desagregação da referida base.

Para efetivação desta comparação, fez-se necessária a padronização das unidades de emissões aplicando-se fatores de conversão. Assim, utilizou-se como unidade comparável entre os diferentes tipos de combustíveis fósseis gasosos, líquidos e sólidos, para cada tipo de fonte, a relação entre o seu conteúdo de carbono e a medida energética “tonelada equivalente de petróleo”: tC/TEP. Além disso, para se estimar as emissões de combustíveis fósseis a partir dos dados de consumo do Balanço Energético, adotou-se a metodologia e diretrizes do Guia do IPCC para elaboração de Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, de 2006, doravante denominado “Guia IPCC-2006” (IPCC, 2006).

Este Guia IPCC é resultado de trabalhos conjuntos desenvolvidos sob a gestão do GT-I do Painel iniciados em 1991 no âmbito do “Programa do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa” (em inglês, *IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme – IPCC/NGGIP*)<sup>28</sup>, contando com estreita colaboração de especialistas da OCDE e da Agência Internacional de Energia (AIE). Em 1999, este programa seria transferido para a Força Tarefa do IPCC sobre Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (em inglês, *IPCC's Task Force on National Greenhouse Gas Inventories - TFI*), com sede no Japão (IPCC, 2012).

De acordo com o Guia IPCC-2006, o uso da energia compreende todas as emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis e da liberação (fuga) decorrente do seu uso, ou seja, que sejam relativas à produção, à transformação e ao consumo de energia, incluindo-se as emissões devidas à queima de combustíveis e à fuga na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo. No entanto, para efeitos deste trabalho, serão estimadas a partir do Balanço Energético, apenas as emissões provenientes do

---

<sup>28</sup> O IPCC / NGGIP é responsável até então por quatro publicações principais, listadas a seguir em ordem decrescente de publicação: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry; Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types; Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.*

consumo final competente à queima de combustíveis, desconsiderando-se, portanto, aquelas referentes a vazamentos e liberações involuntárias (emissões fugitivas).

Não obstante, para se estimar os consumos futuros de combustíveis consistentes com a evolução das emissões totais previstas, é necessário criar hipóteses sobre a distribuição de emissões entre os diferentes tipos de combustível. Adotou-se então a distribuição mais recente refletida nos dados do Segundo Inventário Brasileiro, a do ano de 2005, que também foi adotado pelo Governo Federal e instituições vinculadas para a estimativa das metas voluntárias brasileiras de redução de emissões. Deve-se considerar também que seja provável que o consumo relativo dos diferentes combustíveis fósseis não se mantenha constante no futuro de longo prazo, devido à interferência de fatores sócioeconômicos e restrições ambientais.

Na atribuição das emissões a cada combustível, utilizou-se como parâmetro de conversão a quantidade de carbono emitida por unidade de peso equivalente de petróleo, medida em toneladas equivalentes de petróleo (teps), e que se define por um fator específico para cada combustível, chegando-se assim, aos consumos projetados em teps para cada combustível. Para se estimar cada consumo nas unidades em que são normalmente utilizados, toneladas (t) ou metros cúbicos ( $m^3$ ), é preciso recorrer a outros fatores de conversão, também específicos a cada combustível, tal como a descrição dos fatores pela tabela 14 e abordagem de alguns conceitos a seguir:

- Unidades de medida (Comerciais): as que normalmente expressam as quantidades comercializadas das fontes de energia, por exemplo: para os sólidos a tonelada (t), para os líquidos o metro cúbico ( $m^3$ ) ou barril (bbl), para os gasosos o metro cúbico ( $m^3$ ), para a eletricidade o watt (W) para potência e watt-hora (Wh) para energia.
- Unidade comum: unidade na qual se convertem as unidades de medida utilizadas para diferentes formas de energia. Esta unidade permite adicionar nos Balanços Energéticos quantidades de energias diferentes. Segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), o joule ou o quilowatt-hora são as unidades regulamentares utilizadas como unidade comum, entretanto, outras unidades são correntemente utilizadas por diferentes países e organizações internacionais, como a tonelada equivalente de petróleo (tep) e a tonelada equivalente de carvão (tec).
- Fatores de conversão (coeficientes de equivalência): são coeficientes que permitem passar as quantidades expressas numa unidade de medida para quantidades expressas numa unidade comum.

**Tabela 14: Fatores considerados nos cálculos de emissões**

<p><b>Fator Molecular</b> Fmol = 44/12</p>	<p>Fator utilizado para a conversão de C para CO<sub>2</sub>, a partir da massa molar (massa em gramas de um mol de átomos).</p> <p>⇒ Massa Molar do Carbono (M<sub>C</sub>) = 1 * 12 = 12 g/mol</p> <p>⇒ Massa Molar do Dióxido de Carbono (M<sub>CO2</sub>) = (1 * 12) + (2 * 16) = 12 + 32 = 44 g/mol</p> <p>⇒ Fator de conversão de C para CO<sub>2</sub>: [M<sub>CO2</sub> / M<sub>C</sub>] = (44 g/mol) / (12 g/mol) = 3,667</p> <p>⇒ 1 tC = 3,667 tCO<sub>2</sub></p>
<p><b>Fator de Medida</b> Fmed (combustível)</p>	<p>Utilizado para converter os dados de cada combustível de suas unidades usuais de medida para tonelada equivalente de petróleo (tep) médio, unidade padrão de medida para equivalência de combustíveis [1 tep = 10<sup>4</sup> Kcal/Kg].</p> <p>Este fator considera a respectiva densidade (expressas em Kg/m<sup>3</sup>) e poder calorífico inferior/superior (expressos em Kcal/Kg) de cada combustível, sendo calculado a partir dos respectivos coeficientes de equivalência conforme o estado físico, expressos em:</p> <p>⇒ tep/m<sup>3</sup> (combustíveis líquidos)</p> <p>⇒ tep/1.000m<sup>3</sup> (combustíveis gasosos)</p> <p>⇒ tep/t (combustíveis sólidos)</p>
<p><b>Fator de Conversão em Unidade Comum de Energia</b> Fconv</p>	<p>A conversão do consumo aparente de cada combustível medido na sua unidade original, para uma unidade comum de energia, é efetuada multiplicando-se o consumo aparente pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI), dado que os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível. A unidade comum de energia adotada pelo IPCC é o terajoule (TJ).</p> <p>⇒ 1 tep padrão = 10.000 Mcal = 41,868 * 10<sup>-3</sup> TJ</p>
<p><b>Fator de Emissão</b> Femiss (combustível)</p>	<p>O fator de emissão de carbono representa a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia (em tC/TJ) ou por unidade padrão de medida entre os combustíveis (tC/tep). Na intenção de uniformizar as informações, optou-se por utilizar os fatores de emissão médio do <i>IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories</i> (IPCC, 2006), para as estimativas de consumo e das emissões potenciais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de cada combustível.</p>
<p><b>Fator de Correção</b> Fcorr (combustível)</p>	<p>Fator empregado para a correção dos valores de emissão, considerando-se a combustão incompleta dos combustíveis.</p> <p>Esta correção se deve à diferença entre o carbono contido no consumo aparente de combustível e aquele estocado em produtos não energéticos representa o carbono disponível para</p>

---

ser emitido na combustão. No entanto, nem todo carbono será oxidado na queima de dado combustível, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos.

Na metodologia do IPCC, esse fato é levado em conta no cálculo das emissões reais, multiplicando-se o carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidada na combustão.

---

Fonte: IPCC (2006) e EPE (2008 e 2012).

Um ponto importante, que também pode parcialmente explicar as diferenças de resultados de emissões provenientes dos combustíveis apresentados nos dois inventários, se refere ao fator de conversão em unidade comum de energia adotado em cálculos prévios. O Balanço Energético Nacional considera as quantidades dos combustíveis em toneladas equivalentes de petróleo (tep) que representa a energia contida em uma tonelada do petróleo médio consumido, sendo em média de 10.000 Mcal. No Brasil, até o ano de 2001, o conteúdo energético de 1 tep equivalia a 10.800 Mcal, ou  $[45,217 * 10^{-3} \text{ TJ}]$ , por corresponder ao tipo de petróleo adotado como padrão, originando nos cálculos do Primeiro Inventário (MCTI, 2006) a adoção de um valor específico da tep para o Brasil - vide os cálculos a seguir:

**Equação 1:**  $1 \text{ tep padrão} = 10.000 \text{ Mcal} = 41,868 * 10^{-3} \text{ TJ}$

**Equação 2:**  $1 \text{ tep brasileira} = 10.800 \text{ Mcal} = 10.800/10^4 * 41,868 * 10^{-3} \text{ TJ} = 45,217 * 10^{-3} \text{ TJ}$

Desta forma, quando da constuição do Primeiro Inventário, que considerou dados entre 1990 e 1994, foi considerada metodologicamente incorreta a conversão das quantidades expressas em tep diretamente para terajoules (TJ), pois no BEN o conteúdo energético dos combustíveis assumia como base os respectivos poderes calorífico superiores (PCSs). Para contornar esse problema, o Primeiro Inventário efetuou a conversão dos valores do BEN para terajoules conforme recomendação do *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1996), fazendo com que a unidade de certo combustível em tep, baseado em PCS, fosse convertido para TJ, baseado em PCI. O fator desta conversão, apreentado pela equação abaixo, considerou no cálculo dois fatores correção, o de 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e o de 0,90 para os gasosos, fazendo com que os resultados fossem de 42,92 TJ/1.000tep e 40,70 TJ/1.000tep, respectivamente.

**Equação 3:** Fator de Conversão =  $45,217 * 10^{-3} * \text{fator de correção}$

Neste sentido, as séries históricas do Balanço Energético, que nas edições até o ano de 2001 consideravam o poder calorífico superior (PCS), foram corrigidas e rerepresentadas nas recentes edições com base no poder calorífico inferior (PCI), evitando, portanto, a necessidade de conversão da então “tep brasileira” (equivalente a 10.800 Mcal) para a tep padrão, equivalente a 10.000 Mcal.

Os cálculos a serem apresentados ao longo deste trabalho, consideram o poder calorífico inferior (PCI) de cada combustível e, portanto a unidade de tep padrão (41,868 TJ / 1.000 tep). Contudo, vale frisar por um lado que esses cálculos, seja com quaisquer valores de tep, resultam em aproximações, uma vez que a relação entre o PCI e o PCS de um dado combustível é fortemente dependente do seu conteúdo de água e de hidrogênio. Conforme indicado no Primeiro Inventário (MCTI, 2006), a situação ideal seria a do emprego dos verdadeiros PCIs dos combustíveis, quando disponíveis. Por outro lado, a conversão dos dados extraídos do BEN em unidades naturais para tep considera a aplicação de fatores de conversão disponibilizados pela própria EPE, que variam no período de 1990 a 2005 para alguns combustíveis, motivo pelo qual podem ocorrer distorções, mesmo que pequenas, entre os resultados aferidos pelos Inventários daqueles originados das séries do BEN.

Nos cálculos de conversão e estimativas de emissões a serem apresentados ao longo deste trabalho, foram considerados os valores dos fatores transcritos na Tabela 15, correspondentes às informações da Tabela 14, incluindo-se os valores adotados para a fração de carbono oxidada na combustão, antepenúltima coluna. Apresentam-se também dois fatores de emissões de carbono que, embora equivalentes entre si, possibilitam duas formas de cálculo das estimativas das emissões. O primeiro – “Fator A” na quarta coluna da esquerda para a direita, relaciona o conteúdo de carbono à unidade de energia (tC/TJ), enquanto o segundo – “Fator B” na última penúltima coluna, relaciona o conteúdo de carbono à unidade padrão de medida entre os combustíveis (tC/tep).

Com vistas a facilitar o procedimento de cálculo das emissões a partir dos dados contidos no BEN, multiplicou-se este último fator (tC/tep) pelo fator molecular de conversão do carbono ao dióxido de carbono ( $F_{mol} = 44/12$ ), chegando-se ao fator de emissão do dióxido de carbono (“Fator C”  $\Leftrightarrow$  tCO<sub>2</sub>/tep). Ambos os fatores (“B” e “C”) possibilitam cálculos diretos dos valores em tep, e diferentemente do Fator “A”, consideram em seus cálculos apenas a fração do carbono oxidado, excluindo-se, portanto, a parcela retida nos resíduos da combustão, parcela inoxidada.

Os valores dos três fatores de emissão (“A”, “B” e “C”), ao serem multiplicados pelos valores de consumo ou oferta de combustível em tep, já resultam em valores de emissões

em gigagramas (Gg), seja de carbono ou de dióxido de carbono, respectivamente. Estes fatores se referenciam em dados legitimados pelos dois Guias do IPCC (1996 e 2006).

A tabela 16 e a tabela 17 apresentam os resultados das emissões em GgCO<sub>2</sub> para os anos de 1990 e 2005, de forma a possibilitar comparações com os extremos da série de dados de emissões pelo Segundo Inventário Brasileiro. A estrutura dos cálculos seguiu a padronização do Balanço Energético, discorrendo as emissões do consumo final energético por todos os setores e segmentos de atividade econômica (designados nas tabelas como “contas”). A edição do Balanço considerada foi a última disponível, concernente ao ano base de 2011 (EPE, 2012).

Como já citado, ao longo destes anos o Ministério de Minas e Energia (MME) e, mais recentemente, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foram promovendo alterações e ajustes dos dados contidos nas séries do Balanço Energético, seja pelo refinamento e atualização das informações coletadas, seja por adaptações de ordem metodológica. Motivos pelos quais, são possíveis pequenas diferenças das informações obtidas em documentos anteriormente publicados, a exemplo do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões, das que serão calculadas neste trabalho a partir das informações do BEN, mesmo que este seja fonte comum.

Em 1990, o total das emissões provenientes do uso de combustíveis fósseis foi de 205.653 GgCO<sub>2</sub>, sendo os dois setores de maior emissão o de Transportes com participação de 39,6% (81.358 GgCO<sub>2</sub>) e o Industrial com 31,3% (64.366 GgCO<sub>2</sub>). O Óleo Diesel, como adiantado pelos resultados dos Inventários Nacionais, foi o combustível de maior emissão com 31,27% do total (64.299 GgCO<sub>2</sub>). O segundo maior nível de emissões se originaram do consumo de óleo combustível: 31.135 GgCO<sub>2</sub> ou 15,14% do total.

Esta configuração se manteve em 2005, ano que respondeu por emissões totais de aproximadamente 326.446 GgCO<sub>2</sub>. A participação do Setor de Transportes se elevou para 41,4%, correspondendo neste ano a 135.288 GgCO<sub>2</sub>, e a da Indústria para 33,5% (109.268 GgCO<sub>2</sub>).

**Tabela 15: Fatores considerados nos cálculos de emissões**

<b>Combustíveis</b>	<b>Fator de Medida</b>	<b>Fator de Conversão Unid. Energia</b>	<b>Fator de emissão de carbono (A)</b>	<b>Fração de carbono oxidado</b>	<b>Fator de emissão de carbono (B)</b>	<b>Fator de emissão de dióxido de carbono (C)</b>
<b>Combustíveis Líquidos</b>	(tep / m <sup>3</sup> )	(TJ / 10 <sup>3</sup> tep)	(tC / TJ)		(tC / tep)	(tCO <sub>2</sub> / tep)
Gasolina	0,77	41,868	18,90	0,990	0,783	2,872
Gasolina de Aviação	0,77		19,10	0,990	0,792	2,903
Querosene de Aviação (QAV)	0,82		19,50	0,990	0,808	2,964
Querosene Iluminante	0,82		19,60	0,990	0,812	2,979
Óleo Diesel	0,85		20,20	0,990	0,837	3,070
Óleo Combustível	0,96		21,10	0,990	0,875	3,207
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,61		17,20	0,990	0,713	2,614
Nafta	0,77		20,00	0,990	0,829	3,040
Lubrificantes	0,89		20,00	0,990	0,829	3,040
Outros Prod. Sec. de Petróleo	0,89		20,00	0,990	0,829	3,040
Gás de Refinaria	0,66		18,20	0,995	0,758	2,780
Coque de Petróleo	0,87		27,50	0,990	1,140	4,179
Outras Primárias Fósseis	0,89		20,00	0,980	0,821	3,009
<b>Combustíveis Sólidos</b>	(tep / t)	(TJ / 10 <sup>3</sup> tep)	(tC / TJ)		(tC / tep)	(tCO <sub>2</sub> / tep)
Carvão Vapor	0,41	41,868	26,80	0,980	1,100	4,032
Carvão Metalúrgico	0,64		25,80	0,980	1,059	3,881
Alcatrão	0,86		22,00	0,980	0,903	3,310
Coque de Carvão Mineral	0,69		29,20	0,980	1,198	4,393
<b>Combustíveis Gasosos</b>	(tep / 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(TJ / 10 <sup>3</sup> tep)	(tC / TJ)		(tC / tep)	(tCO <sub>2</sub> / tep)
Gás Natural	0,88	41,868	15,30	0,995	0,637	2,337
Gás Canalizado	0,38		7,12	0,995	0,297	1,087
Gás de Coqueria	0,43		12,10	0,995	0,504	1,848

Fonte: IPCC (1996 e 2006), EPE (2008, 2010 e 2012), MCTI (2006 e 2010).

**Tabela 16: Estimativas de emissão de GgCO<sub>2</sub> pelas Fontes de Energia Primária e Secundária segundo setores de consumo em 1990**

CONTA	Fontes de Energia Primária Fóssil				Fontes de Energia Secundária Fóssil										TOTAL (GgCO <sub>2</sub> )	Distribuição (%) do Consumo Final
	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Outras Fontes Primárias	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Nafta	Querosene	Gás de Cidade e de Coqueria	Coque de Carvão Mineral	Outras Fontes Secund. de Petróleo	Alcatrão		
<b>Fator Emissão (tC/TEP)</b>	0,637	1,100	1,059	0,821	0,837	0,875	0,783	0,713	0,829	0,812	0,504	1,198	0,829	0,903		
Consumo final	7.231	3.999		4.494	64.299	31.135	21.500	14.868	15.071	6.525	517	22.546	8.656	4.813	205.653	100,0%
Consumo final não-energ.	2.093								15.071	243			749	362	18.517	9,0%
Consumo final energético	5.139	3.999		4.494	64.299	31.135	21.500	14.868		6.282	517	22.546	7.907	4.451	187.135	91,0%
Setor energético	1.903				1.316	5.309		53		10	1		4.515	1.124	14.231	6,9%
Residencial	10							13.039		382	267				13.698	6,7%
Comercial	2				121	923		883			101				2.030	1,0%
Público	4				253	175		44		2	14		11		502	0,2%
Agropecuário					9.966	84		2							10.052	4,9%
Transportes - total	4	22			51.662	2.456	21.500			5.714					81.358	39,6%
Rodoviário	4				49.067		21.361								70.432	34,2%
Ferrovário		22			1.604										1.625	0,8%
Aéreo							139			5.714					5.853	2,8%
Hidroviário					991	2.456									3.448	1,7%
Industrial - total	3.215	3.977		4.494	980	21.714		422		174	135	22.546	3.381	3.327	64.366	31,3%
Cimento	92	2.352		126	32	3.148				5			11		5.767	2,8%
Ferro-gusa e aço	779	81			129	1.231		61		32	11	21.685		3.327	27.337	13,3%
Ferro-ligas	8										37	112			158	0,1%
Mineração e pelotiz.	204				239	1.518		5		12		433			2.412	1,2%
Não-ferrosos e outros	64					1.256		40				315	1.064		2.739	1,3%
Química	757	384			70	5.094		24			2		2.302		8.632	4,2%
Alimentos e bebidas	306	434			59	2.338		48		25	25				3.235	1,6%
Têxtil	121	16			8	1.428		10		15	5				1.602	0,8%
Papel e celulose	129	535		4.199	56	1.733		11		7	1				6.672	3,2%
Cerâmica	143	140		168	19	1.291		82		2	12				1.858	0,9%
Outros	611	36			368	2.678		140		74	41		5		3.954	1,9%
Outros						474		425							899	0,4%
<b>TOTAL (GgCO<sub>2</sub>)</b>	7.231	3.999	0	4.494	64.299	31.135	21.500	14.443	15.071	6.525	517	22.546	8.656	4.813	205.653	
Participação (%) por Fonte	3,52%	1,94%	0,0%	2,19%	31,27%	15,14%	10,45%	7,02%	7,33%	3,17%	0,25%	10,96%	4,21%	2,34%	100%	

Fonte: Baseado em dados do Balanço Energético Nacional, ano base 2011 (EPE, 2012).

**Tabela 17: Estimativas de emissão de GgCO<sub>2</sub> pelas Fontes de Energia Primária e Secundária segundo setores de consumo em 2005**

CONTA	Fontes de Energia Primária Fóssil				Fontes de Energia Secundária Fóssil										TOTAL (GgCO <sub>2</sub> )	Distribuição (%) do Consumo Final
	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Outras Fontes Primárias	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Nafta	Querosene	Gás de Cidade e de Coqueria	Coque de Carvão Mineral	Outras Fontes Secund. De Petróleo	Alcatrão		
<b>Fator Emissão (tC/TEP)</b>	0,637	1,100	1,059	0,821	0,837	0,875	0,783	0,713	0,829	0,812	0,504	1,198	0,829	0,903		
Consumo final	31.341	1.374	12.335	12.786	99.413	21.081	39.174	18.616	22.120	7.750	2.455	28.202	29.147	653	326.446	100,0%
Consumo final não-energ.	1.746								22.120	70			474	530	24.940	7,6%
Consumo final energético	29.595	1.374	12.335	12.786	99.413	21.081	39.174	18.616		7.680	2.455	28.202	28.673	123	301.506	92,4%
Setor energético	7.600				484	3.580		72			577		10.791		23.103	7,1%
Residencial	446							14.933		50					15.429	4,7%
Comercial	545				163	370		808							1.886	0,6%
Público	114				262	195		1.153							1.725	0,5%
Agropecuário	9				14.534	205		60		0					14.808	4,5%
Transportes - total	3.999				81.925	2.584	39.174			7.606					135.288	41,4%
Rodoviário	3.999				79.217		39.052								122.269	37,5%
Ferroviário					1.730		0								472	0,1%
Aéreo							122			7.606					2.108	0,6%
Hidroviário					977	2.584									971	0,3%
Industrial - total	16.882	1.374	12.335	12.786	2.045	14.147		1.590		24	1.879	28.202	17.883	123	109.268	33,5%
Cimento	39	25		708	106	75		1				173	5.718	1	6.846	2,1%
Ferro-gusa e aço	2.602		9.214		135	262		260		4	1.879	26.650	1.292	122	42.420	13,0%
Ferro-ligas	5				0	210		12				405	370		1.002	0,3%
Mineração e pelotiz.	630		646		648	1.835		83		4		352	912		2.321	0,7%
Não-ferrosos e outros	1.146		123		0	3.679		47				610	1.558		2.876	0,9%
Química	5.046	349	116	289	409	1.995		55					6.503		14.762	4,5%
Alimentos e bebidas	1.194	249			186	1.695		189		1			159		3.674	1,1%
Têxtil	765				5	359		23		0					1.151	0,4%
Papel e celulose	1.214	222		11.679	184	2.031		146		0		12			15.488	4,7%
Cerâmica	1.941	281		108	27	858		387		0			216		3.818	1,2%
Outros	2.301	248	187	2	346	1.147		387		14			1.154		5.785	1,8%
<b>TOTAL (GgCO<sub>2</sub>)</b>	<b>31.341</b>	<b>1.374</b>	<b>12.335</b>	<b>12.786</b>	<b>99.413</b>	<b>21.081</b>	<b>39.174</b>	<b>18.616</b>	<b>22.120</b>	<b>7.750</b>	<b>2.455</b>	<b>28.202</b>	<b>29.147</b>	<b>653</b>	<b>326.446</b>	
Participação (%) por Fonte	9,60%	0,42%	3,78%	3,92%	30,45%	6,46%	12,00%	5,70%	6,78%	2,37%	0,75%	8,64%	8,93%	0,20%	100%	

Fonte: Baseado em dados do Balanço Energético Nacional, ano base 2011 (EPE, 2012).

### 3.4. Comparação das emissões de combustíveis fósseis pelos Inventários Brasileiros, Balanço Energético Nacional e CDIAC

Este item se reserva a verificar a consistência dos resultados das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> por combustíveis fósseis através das quatro principais fontes de dados consideradas: os dois Inventários Brasileiros de Emissões, o Balanço Energético Nacional e a Base CDIAC. Os valores correspondentes aos dois Inventários já foram apresentados na Tabela 9.

Conforme verificado anteriormente, ao se comparar a relação e classificações dos combustíveis adotados no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e no Balanço Energético Nacional, ambos para o ano de 2005 (último considerado no inventário), observou-se que estas não coincidem de todo. A Tabela 18 registrou as principais correspondências encontradas e em função das diferenças apontadas, realizou-se a padronização dos combustíveis listados pelos dois Inventários e pelo BEN, reunindo-os de forma a tornar efetiva a comparação destas bases, bem como com a Base CDIAC a partir do agrupamento destes combustíveis por seus respectivos estados físicos.

Assim, a Tabela 18 apresenta a referente classificação dos combustíveis fósseis, compatibilizando parcialmente as listas dos Inventários e do BEN, calculando as respectivas emissões de GgCO<sub>2</sub> e as comparando com os dados de emissões do CDIAC.

Os dados a serem comparados são os correspondentes à coluna da Base CDIAC na tabela 18, uma vez que as emissões de cimento, *flaring* e *bunker*<sup>29</sup> não são incorporadas pelos Inventários Brasileiros na contabilização do Setor Energia. Ressalte-se que os dados do BEN utilizados referem-se ao “Consumo Final”, considerando-se aqueles referentes ao “Consumo Final Energético” e ao “Consumo Final Não-Energético”. Optou-se por assim proceder, tendo em vista que em 2005 a parcela referente ao conteúdo não-energético representou apenas 7,6% do total das emissões do Setor Energia, bem como pela intenção de preservar a análise com total correspondência à estrutura e correlações do próprio Balanço Energético.

---

<sup>29</sup> “As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da queima dos combustíveis fornecidos no país para a navegação marítima e o transporte aéreo internacionais (*bunker fuels*) são informadas, de acordo com a decisão 17/CP-8, porém não contabilizadas no total de emissões do setor energético”. Assim, as emissões brasileiras correspondentes a *bunker* foram apresentadas apenas para fins de informação, não sendo incluídas no inventário. Esta mesma medida vale para os combustíveis provenientes de biomassa: lenha, carvão vegetal, resíduos vegetais, lixívia, álcool e bagaço. Os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas - AFOLU. (MCTI, 2010)

Além disso, tal como abordado no inventário, considerou-se que a lenha, os produtos de cana e o carvão vegetal, todos constantes do BEN, não são emissores líquidos de CO<sub>2</sub>. Com o auxílio da tabela 19, que apresenta a variação percentual entre estas quatro fontes de informações e assumindo-se como referencial os dados da Base CDIAC, ficam evidenciadas as disparidades entre os totais das respectivas emissões, bem como dos subtotais dos combustíveis líquidos, sólidos e gasosos correspondentes.

As maiores diferenças se relacionam aos dados do Segundo Inventário Brasileiro, que em 1990 registrou emissões totais 11% menores que aquelas do CDIAC, e em 2005, índice 8,2% menor que o seu correspondente ao CDIAC. Como já adiantado, estas diferenças se deveram, sobretudo aos resultados dos combustíveis sólidos, em virtude das alterações de contabilização das emissões provenientes do segmento siderúrgico. Não obstante, além dos combustíveis sólidos serem responsáveis pela maior disparidade entre emissões correspondentes, a maior delas de 74,6% para o ano de 1990 do Segundo Inventário, estes registram saldo negativo em todas as fontes de dados comparativamente aos resultados do CDIAC, com variações de ao menos 12,3% pelo BEN.

Os combustíveis gasosos também apresentaram elevadas desigualdades, embora estes sejam os menos representativos em termo absolutos de consumo e de emissões. A maior disparidade foi de 70,2% a favor do Primeiro Inventário.

O conjunto de combustíveis responsáveis pelo maior volume de emissões, os combustíveis líquidos, foram os que apresentaram maior consistência de resultados, principalmente quanto aos dois Inventários. Curiosamente as maiores diferenças se deram com relação ao BEN, seja em 1990 (10,6%) ou em 2005 (6,1%). De todo modo, por ter sido a série mais consistente e considerando-se o peso destes na matriz de consumo brasileira, pode-se afirmar que, abstraindo-se de alterações de cunho metodológico que influenciaram principalmente os resultados do Segundo Inventário, estas séries apresentam razoáveis correpondências, uma vez que a maior diferença considerando-se o ano de 2005, que servirá de base para efetivação das projeções de emissões, apresentou desigualdade máxima de 8,2%, equivalente à diferença de 26.894 GgCO<sub>2</sub>. Por outro lado, neste mesmo ano, chama a atenção a grande proximidade entre os resultados totais do BEN (326.446 GgCO<sub>2</sub>) para os do CDIAC (326.836 GgCO<sub>2</sub>), podendo-se afirmar que há convergência plena entre estes resultados, uma vez que a diferença de 0,1% é considerada desprezível.

Na média, os dados de emissões correspondentes informados pelo CDIAC são intermediários entre os valores dos Inventários e o do BEN para o ano de 1990, enquanto que em 2005 estes se aproximam consideravelmente. De todo modo, o fato de haver proximidade entre os totais gerais - principalmente em 2005 - ao passo que há disparidades específicas para alguns combustíveis, bem como pelos subtotais por estados físicos destes (líquido, sólido e gasoso), pode indicar possíveis problemas de classificação e/ou diferenças na forma de entrada dos dados.

**Tabela 18: Comparação das emissões de GgCO<sub>2</sub> segundo combustíveis a partir dos Inventários Brasileiros, Balanço Energético Nacional e Base CDIAC**

Combustível	1990				2005		
	1º INV	2º INV	BEN	CDIAC	2º INV	BEN	CDIAC
Gasolina & Gasolina de Aviação	21.620	21.506	21.500		39.179	39.174	
Querosene de Aviação & Iluminante	6.245	3.926	6.525		5.322	7.750	
Óleo Diesel	65.680	66.053	64.299		105.231	99.413	
Óleo Combustível	32.869	32.921	31.135		23.315	21.081	
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	14.445	14.443	14.868		18.616	18.616	
Nafta	2.982	3.768	15.071		5.530	22.120	
Lubrificantes, gás de refinaria, coque de petróleo e outros prods. sec. petróleo	9.661	9.961	8.656		34.173	29.147	
Outras Primárias Fósseis	630	1.043	4.494		3.759	12.786	
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>154.132</b>	<b>153.621</b>	<b>166.546</b>	<b>150.579</b>	<b>235.125</b>	<b>250.087</b>	<b>235.748</b>
Carvão Vapor	7.634	7.549	3.999		4.592	1.374	
Carvão Metalúrgico		0			12.302	12.335	
Alcatrão	660	667	4.813		352	653	
Coque de Carvão Mineral	22.904	869	22.546		1.567	28.202	
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>31.198</b>	<b>9.085</b>	<b>31.358</b>	<b>35.746</b>	<b>18.813</b>	<b>42.563</b>	<b>52.811</b>
Gás Natural (seco e úmido)	6.363	7.001	7.231		44.010	31.341	
Gás Canalizado e de Coqueria	6.277	2.665	517		1.994	2.455	
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>12.640</b>	<b>9.666</b>	<b>7.749</b>	<b>7.425</b>	<b>46.004</b>	<b>33.796</b>	<b>38.276</b>
<b>TOTAL</b>	<b>197.970</b>	<b>172.372</b>	<b>205.653</b>	<b>193.750</b>	<b>299.942</b>	<b>326.446</b>	<b>326.836</b>

Fonte: PETROBRAS (2011), CDIAC (2012), EPE (2012) e MCTI (2006 e 2010).

**Tabela 19: Variação (%) entre as emissões de GgCO<sub>2</sub> dos Inventários Brasileiros e do Balanço Energético Nacional frente às emissões brasileiras da Base CDIAC**

Tipo de Combustível	1990			2005	
	1º INV	2º INV	BEN	2º INV	BEN
<b>Líquidos</b>	2,4%	2,0%	10,6%	-0,3%	6,1%
<b>Sólidos</b>	-12,7%	-74,6%	-12,3%	-64,4%	-19,4%
<b>Gasosos</b>	70,2%	30,2%	4,4%	20,2%	-11,7%
<b>TOTAL</b>	<b>2,2%</b>	<b>-11,0%</b>	<b>6,1%</b>	<b>-8,2%</b>	<b>-0,1%</b>

Fonte: CDIAC (2012), EPE (2012) e MCTI (2006 e 2010).

### 3.5 Projeções das emissões do Brasil em 2005 pelo Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE

Esta etapa do estudo cabe às projeções das emissões do Brasil, assumindo-se como referência o ano de 2005, conforme dados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e do Balanço Energético Nacional, última edição disponível (EPE, 2012). Para isso, utilizou-se o JCM 5, versão de 11 de junho de 2011, ativando-se os seguintes parâmetros básicos: “Objective = SRES no-climate policy-scenarios”, para referenciar cenários de referência (cenários BAU), ou seja, sem adoção de políticas de mitigação; “SRES Baseline Scenarios = A1F” para ativar os resultados referentes à família A1, e; “SRES Baseline Scenarios = B2”, para ativar os resultados referentes à família B2. Os dados de evolução de emissões foram extraídos relativamente à Região ALM, na qual o Brasil se insere.

Em seguida, tomando como base as emissões brasileiras em 2005, ano base tanto pelo Segundo Inventário como pelo BEN, calculou-se as emissões para os anos de 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030.

As projeções de consumo de combustíveis em tep foram feitas com base no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões (MCTI, 2010) e no Balanço Energético Nacional, última edição (EPE, 2012). As projeções são feitas com base em dois tipos de hipóteses quanto às projeções de emissões. O primeiro tipo de hipótese se refere ao cenário escolhido para as projeções, dentre aqueles contemplados pelo IPCC. Escolheu-se trabalhar apenas com os cenários A1FI (A1 Fuel Intensive), de emissões máximas, e B2, de emissões mínimas. O segundo se refere à base geográfica da projeção utilizada. Os diversos cenários contêm projeções de emissões diferenciadas

por grandes regiões mundiais, e para o mundo como um todo, não possuindo projeções individualizadas por país. Assim, para obter projeções para as emissões brasileiras baseadas nestes modelos globais, tem que admitir que o Brasil passe a ter um comportamento que reflita as tendências da região em que se encontra, ou as do mundo como um todo.

No JCM os dados de entrada dos cenários são informados segundo quatro grandes regiões, as mesmas adotadas pelo SRES e designadas de macro-regiões. A macro-região dos cenários SRES a qual o Brasil se insere, chamada Região ALM, inclui toda a África, a América Latina e o Oriente Médio, tratando-se de uma região ampla e bastante heterogênea. No caso do Brasil, esta região representa o nível mínimo geográfico tratado pelos cenários globais, contando-se com duas alternativas mais próximas para efetivação das projeções: cenários ALM A1FI e cenários ALM B2.

Quanto aos valores gerados para individualizar as emissões por país, o JCM, usa as proporções dos mesmos nas emissões regionais e totais, como refletidas pelos dados mais recentes, consistentes com os dados da Base CDIAC. Essas proporções são mantidas constantes, não havendo nenhuma previsão de comportamento diferenciado por país. Desta forma, variações nas emissões de um único país, na maioria dos casos, não afetam substancialmente as variáveis de nível mais alto. Esse é o caso do Brasil quanto às emissões resultantes da queima de combustível, sendo o papel brasileiro relevante apenas no componente de variações no uso da terra (expansão da fronteira agrícola, desmatamento, etc.).

Nessas condições, para se estimar quais as trajetórias futuras que as emissões brasileiras devem ter de acordo com o JCM, tanto na hipótese de nenhuma política de mitigação como na hipótese de diminuição global de emissões, é suficiente se projetar a mesma trajetória de variação relativa prevista para as áreas maiores em que o Brasil está contido. Uma hipótese considerada neste trabalho é a de que o Brasil se comporte como a Região ALM.

Para cada alternativa, ano considerado e com base nas emissões (reais ou projetadas) para cada caso, a planilha a ser gerada pelo modelo calcula o consumo correspondente de combustível em tep. A conversão de emissões para consumo é feita com base nos parâmetros tC/tep de cada combustível, anteriormente referidos.

O único dado real utilizado é o de 2005, usado como base para todas as projeções, que cobrem os anos de 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030. Este ano foi escolhido por ser o último adotado pelo Inventário Brasileiro na intenção de se realizar projeções de uma base o mais próxima da realidade do país, bem como por este ano

ter apresentado compatibilidade praticamente total entre os resultados das estimativas de emissões pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2012) e as fornecidas pela Base CDIAC. É importante notar que os dados de 2010 que aparecem na tabela são dados projetados com base em 2005, embora já existam dados reais para esse ano pelo Balanço Energético. Manteve-se esse critério para que a tabela ficasse homogênea, embora fossem possíveis alternativas a partir do BEN, como o uso dos dados de 2010 de forma a manter coerência do intervalo temporal (quinquênio), ou mesmo 2011, último ano disponível.

As projeções são realizadas utilizando-se os dados de emissão de cada combustível em 2005, além das estimativas de emissões regionais neste ano e em cada ano subsequente a ser projetado, todos extraídos do JCM. As projeções de emissões feitas até 2030 envolveram dois cenários, duas regiões de referência, e tomando como base os dados do Segundo Inventário e do BEN para o ano de 2005. Os dados do CDIAC foram utilizados apenas para balizar a estruturação das informações e conferir a consistência das mesmas, não entrando, porém, nos cálculos finais.

Na atribuição das emissões a cada combustível, foi usada como parâmetros de conversão a quantidade de carbono emitido por unidade de peso equivalente de petróleo (medidas em toneladas equivalentes de petróleo - tep), que é definida por um fator específico para cada combustível. A compatibilização de unidades, considerou a conversão da unidade de uso corrente de cada tipo de combustível (líquidos em 1000m<sup>3</sup>, sólidos em 1000t e gasosos em milhões de m<sup>3</sup>) para tep. Para as conversões, foram utilizados os parâmetros anteriormente relatados, os quais variam de um combustível para outro.

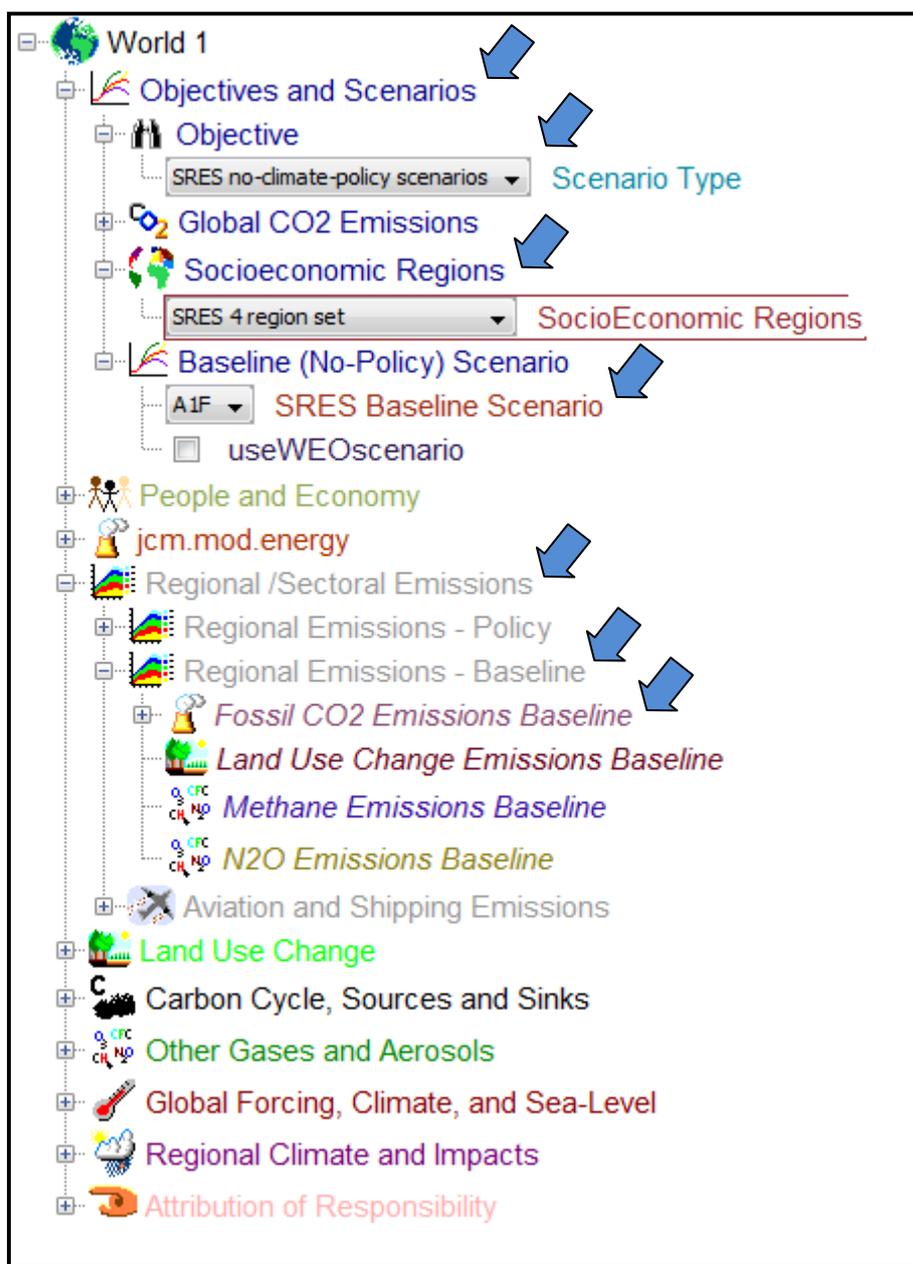
A sistemática adotada incorpora algumas simplificações. A primeira tem a ver com o consumo relativo dos diversos combustíveis, quando se admite que as proporções de consumo permaneçam as mesmas de 2005, o que talvez não se concretize. A segunda envolve as emissões internacionais, quando não se consideram trajetórias de emissões brasileiras diferentes do padrão da Região ALM. A terceira é ligada à evolução tecnológica, que pode afetar as emissões por unidade de combustível consumido, que alterariam os parâmetros tC/tep.

As projeções se basearam em dados extraídos do Java Climate Model 5 (JCM5), versão de 11 de junho de 2011, relativos às emissões de CO<sub>2</sub>, feitas com os seguintes parâmetros, ativados através do menu “*Objectives and Scenarios*” do JCM: Objectives and Scenarios => Objective => Scenario Type: SRES no-climate-policy-

scenarios => SocioEconomic Regions: SRES 4 region set => Baseline (No-Policy) Scenario => SRES Baseline Scenario: B2 ou A1F. A Figura 1 demonstra as seleções parciais marcadas.

Os dados extraídos provieram da tabela gerada no JCM através da seguinte seqüência de menus: Regional/Sectoral Emissions => Regional Emissions – Baseline => Fossil CO2 Emissions Baseline => Table. Na Figura 1, apresenta-se o layout de toda a árvore de seleção com destaque para a seqüência de parâmetros utilizados do modelo Java Climate Model 5, sendo cada um indicado por setas azuis.

**Figura 1: Apresentação do layout da árvore de seleção do Java Climate Model 5 com seqüência de seleções**



Fonte: JCM (2011), disponível em [www.climate.be/jcm](http://www.climate.be/jcm).

Consultando a tabela gerada a partir do modelo, obtém-se os dados de emissões reais projetadas, segundo o cenário “scen”, para a região “reg” no ano “t” [EmissJcm (scen, reg, t)]. Os valores de “scen” utilizados foram “scen = a1f” e “scen = b2”. A região considerada foi “reg = ALM”. As projeções brasileiras de emissões de GEE associadas ao consumo de combustíveis, baseadas no JCM, segue a seguinte correspondência de fatores extraídos do modelo – vide tabela 20, conforme o cenário e o ano de projeção.

**Tabela 20: Projeções JCM para as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a combustíveis fósseis**

Cenário	Ano de Projeção					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
B2	1,12	1,28	1,50	1,71	1,89	2,07
A1FI	1,12	1,28	1,63	2,08	2,67	3,22

Fonte: PETROBRAS (2011).

Os consumos de combustíveis projetados em tep, com base no Inventário foram calculados para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030. O ano de 2005 foi considerado como base, assumindo-se como parâmetro os respectivos valores das emissões em GgCO<sub>2</sub> de cada combustível, tal como apresentado no Inventário Brasileiro e calculado a partir de dados do Balanço Energético Nacional. No entanto, seja pela aplicação de fatores de converção diferentes ou por questão de aproximação matemática, as estimativas em 1.000 tep correspondentes a cada combustível a partir das projeções do JCM não necessariamente coincidem com aquelas apresentadas no Segundo Inventário na tabela intitulada “consumo final de energia por fonte” (MCTI, 2010: p.159), também em 1.000 tep.

Pequenas diferenças também são percebidas no confronto dos resultados entre estas projeções e os dados originais do Balanço Energético (EPE, 2012), especificamente para 2005, dada a própria aplicação do modelo JCM e de suas variáveis.

Além das diferenças de cunho metodológico, o consumo total em tep previsto pelo JCM não equivale ao total pelo Segundo Inventário também pelo fato de o conjunto de fontes apresentadas na referida tabela não ser idêntica a que se apresenta com relação aos dados de “emissões de CO<sub>2</sub> por combustível”, justamente pela relação de consumo por fonte incluir também solventes, asfalto e outros produtos não energéticos de petróleo. As projeções de consumo em tep pelo JCM foram calculadas para cada combustível de acordo com a Equação 4, no caso do Inventário,

e Equação 5, no caso do BEN, realizando-se as devidas compatibilidades entre as listas apresentadas por estas duas fontes de dados visando a uniformização das informações:

**Equação 4:** 
$$\text{ConsProjInvTep (comb, scen, reg, t)} = \text{EmissInv (comb, 2005)} / \text{Fmol} / \text{Femiss (comb)} * \text{EmissJcm (scen, reg, t)} / \text{EmissJcm (scen, reg, 2005)}$$

**Equação 5:** 
$$\text{ConsProjBenTep (comb, scen, reg, 2030)} = \text{EmissBenTonC (comb, 2005)} / \text{Femiss (comb)} * \text{EmissJcm (scen, reg, 2030)} / \text{EmissJcm (scen, reg, 2005)}$$

As tabelas 21 e 22 a seguir, sistematizam respectivamente para os cenários B2 e A1FI, o conjunto de projeções do modelo JCM para o consumo brasileiro de combustíveis fósseis em 1.000 tep, a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário Brasileiro para o ano de 2005. As variáveis destas projeções correspondem à Região ALM, segundo a aplicação do modelo. Pelo cenário B2, a previsão é de que o consumo total de fontes fósseis em 2030 chegará a aproximadamente 188 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep).

Já pelo cenário A1FI, intensivo em fósseis, este consumo alcançará praticamente 292 Mtep, significando um incremento de aproximadamente 55% no uso destes combustíveis sobre a estimativa do cenário B2, de viés ambiental. Esta diferença traduz a disparidade entre os dois cenários ao longo do período analisado (2005-2030), sendo replicada a todos os combustíveis dada que as projeções do JCM, excluindo-se a interferência ou adoção de políticas de mitigação, assumem caráter linear. Porém, observam-se diferenças quando realizada esta comparação com relação aos anos de 2015 a 2030, dado que em 2005 e 2010, o modelo considera os dados como passados. Neste sentido, a diferença entre estes dois cenários segundo as projeções do modelo são de 8,5% em 2015, 21,6% em 2020, 41,2% em 2025 e, como já comentado, 55,3% em 2030.

**Tabela 21: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário Brasileiro e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário B2**

Combustível	Ano					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina	13.595	15.422	18.131	20.696	22.818	25.057
Gasolina de Aviação	44	50	58	67	73	81
Querosene de Aviação (QAV)	1.771	2.009	2.362	2.696	2.972	3.264
Querosene Iluminante	25	28	33	38	42	46
Óleo Diesel	34.277	38.881	45.711	52.178	57.529	63.174
Óleo Combustível	7.270	8.247	9.696	11.067	12.202	13.400
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	7.121	8.078	9.497	10.841	11.952	13.125
Nafta	1.819	2.064	2.426	2.769	3.053	3.353
Lubrificantes	428	485	570	651	718	788
Outros Prod. Sec. de Petróleo	2.150	2.438	2.867	3.272	3.608	3.962
Gás de Refinaria	1.249	1.417	1.666	1.902	2.097	2.302
Coque de Petróleo	3.731	4.232	4.975	5.679	6.261	6.876
Outras Primárias Fósseis	3.821	4.334	5.095	5.816	6.412	7.041
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>77.301</b>	<b>87.684</b>	<b>103.087</b>	<b>117.671</b>	<b>129.738</b>	<b>142.468</b>
Carvão Vapor	1.139	1.292	1.519	1.734	1.911	2.099
Carvão Metalúrgico	3.169	3.595	4.227	4.825	5.319	5.841
Alcatrão	106	121	142	162	178	196
Coque de Carvão Mineral	357	405	476	543	599	657
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>4.771</b>	<b>5.412</b>	<b>6.363</b>	<b>7.263</b>	<b>8.008</b>	<b>8.794</b>
Gás Natural	18.831	21.361	25.113	28.666	31.606	34.707
Gás Canalizado	-	-	-	-	-	-
Gás de Coqueria	1.079	1.224	1.439	1.642	1.811	1.988
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>19.910</b>	<b>22.585</b>	<b>26.552</b>	<b>30.308</b>	<b>33.416</b>	<b>36.695</b>
<b>Total</b>	<b>101.982</b>	<b>115.681</b>	<b>136.002</b>	<b>155.242</b>	<b>171.162</b>	<b>187.957</b>

Fonte: MCTI (2010) e JCM (2011), com adaptação de PETROBRAS (2011). Nota: O consumo de gás canalizado, por falta de dados, não foi considerado pelo Segundo Inventário a partir do ano de 2002.

**Tabela 22: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário Brasileiro e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário A1FI**

Combustível	Ano					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina	13.595	15.422	19.670	25.168	32.228	38.920
Gasolina de Aviação	44	50	63	81	104	125
Querosene de Aviação (QAV)	1.771	2.009	2.562	3.278	4.198	5.069
Querosene Iluminante	25	28	36	46	59	71
Óleo Diesel	34.277	38.881	49.594	63.454	81.254	98.127
Óleo Combustível	7.270	8.247	10.519	13.459	17.235	20.814
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	7.121	8.078	10.304	13.183	16.882	20.387
Nafta	1.819	2.064	2.632	3.368	4.313	5.208
Lubrificantes	428	485	619	792	1.014	1.224
Outros Prod. Sec. de Petróleo	2.150	2.438	3.110	3.979	5.096	6.154
Gás de Refinaria	1.249	1.417	1.808	2.313	2.961	3.576
Coque de Petróleo	3.731	4.232	5.398	6.906	8.843	10.680
Outras Primárias Fósseis	3.821	4.334	5.528	7.073	9.057	10.937
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>77.301</b>	<b>87.684</b>	<b>111.842</b>	<b>143.101</b>	<b>183.243</b>	<b>221.293</b>
Carvão Vapor	1.139	1.292	1.648	2.108	2.700	3.260
Carvão Metalúrgico	3.169	3.595	4.586	5.867	7.513	9.073
Alcatrão	106	121	154	197	252	304
Coque de Carvão Mineral	357	405	516	660	846	1.021
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>4.771</b>	<b>5.412</b>	<b>6.903</b>	<b>8.833</b>	<b>11.311</b>	<b>13.659</b>
Gás Natural	18.831	21.361	27.246	34.861	44.640	53.910
Gás Canalizado	-	-	-	-	-	-
Gás de Coqueria	1.079	1.224	1.561	1.997	2.557	3.088
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>19.910</b>	<b>22.585</b>	<b>28.807</b>	<b>36.858</b>	<b>47.198</b>	<b>56.998</b>
<b>Total</b>	<b>101.982</b>	<b>115.681</b>	<b>147.553</b>	<b>188.792</b>	<b>241.751</b>	<b>291.951</b>

Fonte: MCTI (2010) e JCM (2011), com adaptação de PETROBRAS (2011). Nota: O consumo de gás canalizado, por falta de dados, não foi considerado pelo Segundo Inventário a partir do ano de 2002.

Quanto às projeções segundo os dados de consumo pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2012), que são apresentadas pelas tabelas 23 e 24, verifica-se para 2030 um consumo total de combustíveis fósseis acima de 206 Mtep para o cenário B2, enquanto que para o cenário A1FI, a quantidade de fósseis na matriz energética nacional poderá ultrapassar as 321 Mtep neste mesmo ano.

Comparando-se estes resultados totais baseados no Balanço Energético com os totais correspondentes pelo Segundo Inventário Brasileiro, ou seja, consumo total pelo cenário B2/Inventário frente ao consumo total do cenário B2/BEN - e reciprocamente para o cenário A1FI, observa-se uma disparidade de quase 10% para

ambos os cenários no ano de 2030. Desta forma fica indicada a diferença média entre as duas bases de informação (BEN e Segundo Inventário) em 2030, considerando-se o consumo total dos combustíveis analisados. Este percentual varia para cada combustível, cabendo à Nafta a maior disparidade no ano de 2030, cerca de 300%, significando que o BEN considera maior utilização deste combustível na matriz energética, baseados nos valores de 2005.

**Tabela 23: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Balanço Energético Nacional e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário B2**

Combustível	Ano					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina	13.594	15.420	18.128	20.693	22.815	25.053
Gasolina de Aviação	44	50	58	67	73	81
Querosene de Aviação (QAV)	2.579	2.925	3.439	3.925	4.328	4.753
Querosene Iluminante	36	41	48	55	61	67
Óleo Diesel	32.382	36.732	43.184	49.293	54.348	59.681
Óleo Combustível	6.574	7.457	8.767	10.007	11.033	12.116
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	7.121	8.078	9.497	10.841	11.952	13.125
Nafta	7.277	8.255	9.705	11.078	12.214	13.412
Lubrificantes	1.075	1.220	1.434	1.637	1.805	1.982
Outros Prod. Sec. de Petróleo	5.405	6.130	7.207	8.227	9.071	9.961
Gás de Refinaria	3.141	3.563	4.189	4.781	5.272	5.789
Coque de Petróleo	7.552	8.566	10.071	11.495	12.674	13.918
Outras Primárias Fósseis	3.059	3.470	4.080	4.657	5.134	5.638
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>89.838</b>	<b>101.906</b>	<b>119.807</b>	<b>136.756</b>	<b>150.780</b>	<b>165.575</b>
Carvão Vapor	341	386	454	519	572	628
Carvão Metalúrgico	3.178	3.605	4.238	4.838	5.334	5.857
Alcatrão	197	224	263	300	331	363
Coque de Carvão Mineral	722	819	963	1.099	1.212	1.331
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>4.438</b>	<b>5.034</b>	<b>5.918</b>	<b>6.756</b>	<b>7.448</b>	<b>8.179</b>
Gás Natural	13.410	15.212	17.884	20.414	22.507	24.716
Gás Canalizado	2.258	2.562	3.012	3.438	3.790	4.162
Gás de Coqueria	2.184	2.477	2.912	3.324	3.665	4.025
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>17.853</b>	<b>20.251</b>	<b>23.808</b>	<b>27.176</b>	<b>29.963</b>	<b>32.903</b>
<b>Total</b>	<b>112.129</b>	<b>127.191</b>	<b>149.533</b>	<b>170.688</b>	<b>188.192</b>	<b>206.657</b>

Fonte: JCM (2011) e EPE (2012), com adaptação de PETROBRAS (2011).

**Tabela 24: Projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Balanço Energético Nacional e Região ALM, baseadas em 2005 / Cenário A1FI**

Combustível	Ano					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina	13.594	15.420	19.668	25.165	32.224	38.915
Gasolina de Aviação	44	50	63	81	104	125
Querosene de Aviação (QAV)	2.579	2.925	3.731	4.774	6.113	7.382
Querosene Iluminante	36	41	52	67	86	104
Óleo Diesel	32.382	36.732	46.852	59.946	76.762	92.702
Óleo Combustível	6.574	7.457	9.511	12.169	15.583	18.819
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	7.121	8.078	10.304	13.183	16.882	20.387
Nafta	7.277	8.255	10.529	13.472	17.251	20.833
Lubrificantes	1.075	1.220	1.556	1.991	2.549	3.078
Outros Prod. Sec. de Petróleo	5.405	6.130	7.820	10.005	12.812	15.472
Gás de Refinaria	3.141	3.563	4.544	5.815	7.446	8.992
Coque de Petróleo	7.552	8.566	10.926	13.979	17.901	21.618
Outras Primárias Fósseis	3.059	3.470	4.426	5.663	7.252	8.758
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>89.838</b>	<b>101.906</b>	<b>129.982</b>	<b>166.310</b>	<b>212.963</b>	<b>257.185</b>
Carvão Vapor	341	386	493	631	808	975
Carvão Metalúrgico	3.178	3.605	4.598	5.883	7.534	9.098
Alcatrão	197	224	285	365	467	565
Coque de Carvão Mineral	722	819	1.045	1.337	1.712	2.067
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>4.438</b>	<b>5.034</b>	<b>6.421</b>	<b>8.216</b>	<b>10.520</b>	<b>12.705</b>
Gás Natural	13.410	15.212	19.403	24.825	31.789	38.390
Gás Canalizado	2.258	2.562	3.268	4.181	5.354	6.465
Gás de Coqueria	2.184	2.477	3.160	4.043	5.177	6.252
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>17.853</b>	<b>20.251</b>	<b>25.830</b>	<b>33.049</b>	<b>42.320</b>	<b>51.108</b>
<b>Total</b>	<b>112.129</b>	<b>127.191</b>	<b>162.233</b>	<b>207.575</b>	<b>265.803</b>	<b>320.997</b>

Fonte: JCM (2011) e EPE (2012), com adaptação de PETROBRAS (2011).

Por fim, a tabela 25 retrata o saldo do consumo de cada combustível entre os anos de 2005 e 2030, para cada cenário de emissão (B2 e A1FI) e correspondentes bases de dados (BEN e Inventário). Afora as diferenças entre saldos do mesmo combustível para o mesmo cenário que são observadas nas duas fontes de dados, diferença esta já referenciada à metodologia de classificação e compatibilidade de informações, destaca-se que o Balanço Energético apresenta maiores diferenças consoante os combustíveis líquidos, enquanto que o Segundo Inventário apresenta as maiores disparidades nos combustíveis sólidos e gasosos.

Dentre os combustíveis líquidos, as maiores diferenças de consumo previstas no período correspondem ao óleo diesel, chegando a 63 Mtep pelo cenário A1FI / 2º INV, podendo este resultado ser reflexo das expectativas de crescimento do produto

do país, considerando-se o aumento de demanda de diesel estando voltada principalmente ao transporte de carga. A gasolina responderia, também pelo cenário A1FI (ambos as bases de dados), a um crescimento de mais de 25 Mtep. Com relação a outras fontes, chama atenção o crescimento do volume de gás natural, cujo saldo fica positivo em praticamente 25 Mtep, mesmo incremento da gasolina.

Esta tabela também apresenta, na última linha, a evolução percentual ao longo de todo o período, atribuída pelo modelo a cada cenário. Observa-se uma variação de 84,3% para os resultados do cenário B2, enquanto que para o cenário A1FI a disparidade é de mais de 186% ao longo dos 25 anos. Estas variações independem da fonte de dados utilizada. A diferença de mais de 100 pontos percentuais entre os dois cenários, é um indicador para se avaliar qual plataforma de consumo futuro de fósseis o país deseja assumir, ou seja, qual a direção que se visiona para a economia brasileira nas próximas décadas, tendo-se em consideração as políticas atuais de crescimento econômico, bem como o conjunto de políticas e ações de mitigação e/ou adaptação que se propõe assumir. Não obstante, cabe destacar que ao longo de todo o período os combustíveis líquidos permanecem como sendo o carro-chefe do consumo de fósseis, mantendo participação superior a 73% na média e, como já discutido anteriormente, a maior parte deste consumo se refere a transportes, seja de carga ou de passageiros.

**Tabela 25: Saldo e evolução (%) total das projeções JCM do consumo brasileiro de combustíveis fósseis (1.000 tep) a partir dos dados de emissões do Segundo Inventário e do Balanço Energético Nacional / Cenários B2 e A1FI (2005 - 2030)**

Combustível	Saldo entre 2005 e 2030 (1.000 tep)			
	B2		A1FI	
	2º INV	BEN	2º INV	BEN
Gasolina	11.461	11.460	25.325	25.321
Gasolina de Aviação	37	37	81	81
Querosene de Aviação (QAV)	1.493	2.174	3.299	4.804
Querosene Iluminante	21	30	46	67
Óleo Diesel	28.897	27.299	63.850	60.320
Óleo Combustível	6.129	5.542	13.543	12.245
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	6.004	6.004	13.266	13.266
Nafta	1.534	6.135	3.389	13.556
Lubrificantes	361	907	797	2.003
Outros Prod. Sec. de Petróleo	1.812	4.556	4.004	10.067
Gás de Refinaria	1.053	2.648	2.327	5.851
Coque de Petróleo	3.145	6.366	6.949	14.067
Outras Primárias Fósseis	3.221	2.579	7.117	5.699
<b>Combustíveis Líquidos</b>	<b>65.167</b>	<b>75.737</b>	<b>143.993</b>	<b>167.347</b>
Carvão Vapor	960	287	2.122	635
Carvão Metalúrgico	2.672	2.679	5.904	5.920
Alcatrão	90	166	198	367
Coque de Carvão Mineral	301	609	664	1.345
<b>Combustíveis Sólidos</b>	<b>4.022</b>	<b>3.741</b>	<b>8.888</b>	<b>8.267</b>
Gás Natural	15.876	11.305	35.078	24.980
Gás Canalizado	0	1.904	0	4.207
Gás de Coqueria	910	1.841	2.010	4.068
<b>Combustíveis Gasosos</b>	<b>16.785</b>	<b>15.050</b>	<b>37.088</b>	<b>33.255</b>
<b>Saldo do Total</b>	<b>85.975</b>	<b>94.529</b>	<b>189.969</b>	<b>208.869</b>
<b>Evolução (%) entre 2005-2030</b>	<b>84,3%</b>		<b>186,3%</b>	

Fonte: EPE (2012), JCM (2011) e MCTI (2012), com adaptação de PETROBRAS (2011).

## **4. COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE CENÁRIOS DE DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL PARA 2030**

Após avaliação e estimativas da demanda de combustíveis, o presente capítulo tratará das projeções de emissões de dióxido de carbono entre 2005 e 2030, sendo primeiramente utilizado o modelo JCM na prospecção das emissões brasileiras a partir do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE (MCTI, 2006). Para efeito de comparação, foram considerados também os conjuntos de dados e informações sobre projeções de consumo e emissões disponibilizados pelos seguintes relatórios: *International Energy Outlook* (IEO), da *US Energy Information Administration* (EIA); *World Energy Outlook* (WEO), da *International Energy Agency* (IEA), e; Plano Nacional de Energia, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Por outro lado, foram também verificados alguns estudos que tratam de estimativas futuras das emissões brasileiras na área de energia, como o “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil”, editado em 2010 pelo Banco Mundial, e o relatório “Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil”, lançado em 2009 pela consultoria McKinsey & Company. Contudo, verificou-se que estes estudos não se referenciam como fontes primárias de dados, uma vez que foram construídos a partir de informações correlatas e já disponibilizadas em documentos nacionais oficiais, a exemplo do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões (MCTI, 2006), e dos próprios relatórios e documentos das duas fontes internacionais já mencionadas: a EIA e o IEA. Assim, resolveu-se por não utilizá-las neste trabalho.

Consoante a todas as referências bibliográficas utilizadas procurou-se adotar os últimos documentos e relatórios publicados, visando a adoção das informações mais atuais e próximas da realidade brasileira.

### **4.1. Projeções dos cenários SRES BR pelo JCM**

As projeções de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil associadas ao consumo de combustíveis que foram baseadas nos Cenários SRES, em gigagramas de carbono (GgC), utilizaram os parâmetros “Objective = SRES no-climate policy-scenarios”, “SRES Baseline Scenarios = A1FI” e “SRES Baseline Scenarios = B2”, aplicados no modelo JCM para a estimativa dos dados de evolução de emissões relativas à Região ALM (África, América Latina e Oriente Médio), sendo esta última região assumida como parâmetro para a extração das emissões brasileiras.

Na seqüência, foram calculadas as emissões brasileiras de carbono para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030, assumindo-se como ano base o de 2005, consoante os dados provenientes do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE (MCTI, 2010), ou seja, todas as projeções a partir do modelo JCM se basearam no valor de 299.941 GgCO<sub>2</sub>. Embora também se tenham estruturadas as projeções a partir do Balanço Energético Nacional (BEN), que apresentaram valores superiores aos do Segundo Inventário por diferentes motivos já discutidos, optou-se por considerar apenas o valor base do Segundo Inventário, por ser o documento oficial do Brasil com referência às suas emissões nacionais e pelo fato de seus resultados servirem de balizadores para as estimativas das metas voluntárias brasileiras para 2020 e todo respectivo arcabouço legal.

Assim, foram utilizados os fatores estipulados a partir do modelo JCM e o método de cálculo seguiu inicialmente a mesma lógica e atribuição de parâmetros apresentados anteriormente, ou seja, rodando-se o modelo com marcações “Baseline (No-Policy) Scenario” no aplicativo, correspondendo-se, portanto, aos Cenários de Referência ou BAU (*Business-as-usual*) para cada família de cenário SRES. Do mesmo modo, como anteriormente destacado, na efetivação destas projeções, foram consideradas apenas as emissões resultantes da queima de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, sendo deixados de lado os dados relativos à produção de cimento, à queima de resíduos gasosos em indústrias químicas e refinarias (*gas flaring*), e ao transporte internacional (*bunker fuels*), adotando-se a mesma lógica assumida pelo Segundo Inventário Brasileiro, em que o primeiro não pertencente ao setor energia e os dois últimos são contabilizados separadamente por critérios alinhados à metodologia do Guia do IPCC (IPCC, 1996 e 2006).

Como forma de facilitar a compreensão e distinção entre as variadas projeções brasileiras de emissões que se apresentam por diferentes fontes, para o caso das atribuídas pelo modelo JCM, foram designadas as siglas “SRES BR B2” e “SRES BR A1FI”, justamente por terem seguido as diretrizes previstas pelos cenários de referência SRES IPCC – marcação “SRES no-climate-policy scenarios” no aplicativo do JCM - para a família B2 e família A1FI, respectivamente. Os resultados destas projeções de emissões em GgCO<sub>2</sub> para o Brasil encontram-se destacadas na tabela 26, distribuídas segundo as famílias A1FI e B2, refletindo os mesmos parâmetros discutidos anteriormente.

**Tabela 26: Projeções de emissões brasileiras de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis com base no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE**

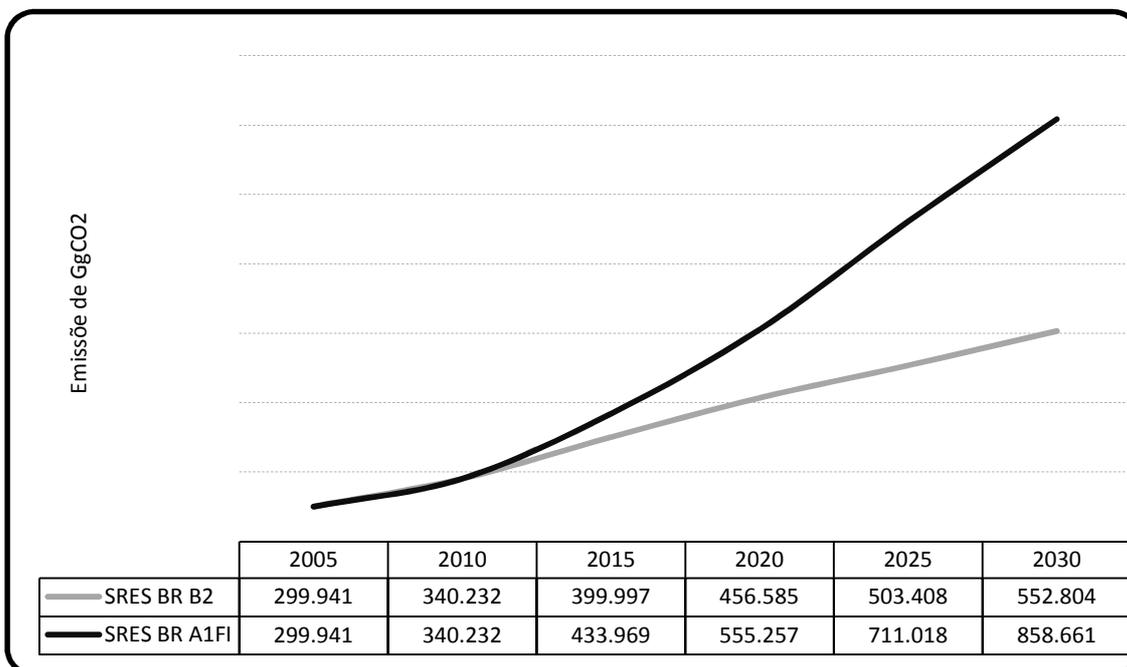
Ano	SRES BR B2	SRES BR A1FI
2005	299.941	299.941
2010	340.232	340.232
2015	399.997	433.969
2020	456.585	555.257
2025	503.408	711.018
2030	552.804	858.661

Fonte: JCM (2011), PETROBRAS (2011) e MCTI (2010).

Essas projeções em GgCO<sub>2</sub> obtidas pelo JCM, servirão de base para a comparação com as outras projeções avaliadas na seqüência deste capítulo. Pelo Gráfico 8, segue a representação destas projeções, ficando ainda mais evidente a proximidade dos resultados aferidos pelo Segundo Inventário Brasileiro (MCTI, 2010), seja para a família B2, seja para a família A1FI. Outro ponto a destacar é o fato de entre os anos de 2007 e 2010 ambos os resultados (família B2 e A1FI) se apresentarem similares, fazendo com que as quatro curvas coincidissem.

A partir de 2020, as projeções da família A1FI apresentaram emissões progressivamente mais elevadas fazendo com que suas curvas se deslocassem das curvas da família B2, ganhando, portanto, uma inclinação mais acentuada. Este resultado está em consonância com as premissas do *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES), do IPCC, que atribuem aos cenários do tipo A1 resultados que refletem um crescimento acelerado da economia mundial com uso intensivo de energia e consumo mais elevado de combustíveis fósseis. Em contrapartida, os cenários do tipo B2 refletem um crescimento moderado das economias e com ênfase na proteção ambiental, o que corresponderia a um crescimento menor das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Gráfico 8: Projeções SRES BR (B2 e A1FI) de emissões em GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis a partir do JCM e Segundo Inventário Brasileiro de Emissões entre 2005 e 2030**



Fonte: JCM (2011) e MCTI (2010), com adaptação de PETROBRAS (2011).

Apenas para efeito de comparação, foram rodadas através do JCM - mantidos os mesmos pressupostos: “SRES no-climate-policy scenarios”, Região ALM e cenários B2 e A1FI, as projeções das emissões brasileiras de combustíveis fósseis em GgCO<sub>2</sub>, baseando-se porém nos dados de emissões a partir do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE (MCTI, 2006). Este exercício objetivou verificar como se dariam as emissões brasileiras de combustíveis fósseis sobre outra hipótese, a baseada nas informações oficiais do Primeiro Inventário, desconsiderando-se, portanto, as alterações metodológicas e outros ajustes implementados no Segundo Inventário. Estas projeções foram designadas de “ALM B2” e “ALM A1FI”, sendo mantidas as designações para as projeções referentes ao Segundo Inventário: “SRES BR B2, A1FI”.

Seguindo as mesmas diretrizes e parâmetros adotados para o Segundo Inventário e na intenção de se realizar as projeções sobre os anos mais recentes de cada série de dados, considerou-se como ano base para as projeções o de 1994, último da série disponibilizada pelo Primeiro Inventário. Os dados base, assim como os projetados sob a modelagem do JCM, respectivamente pelos Primeiro e Segundo Inventários Brasileiros, encontram-se dispostos na tabela 27 e pelo Gráfico 9.

Na referida tabela, destacam-se respectivamente em azul e verde, as projeções de emissões referentes aos anos utilizados como comparação entre os dois Inventários (2005, 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030), podendo-se observar as diferentes trajetórias assumidas por suas respectivas emissões, sendo superior a do Primeiro Inventário. Estas trajetórias são proporcionais pelo fato de se ter aplicado os mesmos parâmetros e fatores pelo modelo JCM.

Segundo este exercício de cenarização, a diferença entre os dois inventários, no ano de 2030 foi de 21.739 GgCO<sub>2</sub> e de 33.766 GgCO<sub>2</sub> para os cenários B2 e A1FI, respectivamente, significando uma variação de aproximadamente 4%. Embora os saldos se diferenciem ano a ano para ambos os cenários por conta de diversas mudanças previstas para ocorrerem ao longo do tempo e que se expressam nos fatores da Projeção JCM, esta variação de 4% se mantém em todos os anos da projeção, dado que a comparação é feita entre os mesmos cenários, que por sua vez utilizam as mesmas forças motrizes inerentes ao modelo JCM, sejam referentes ao cenário B2, sejam ao cenário A1FI.

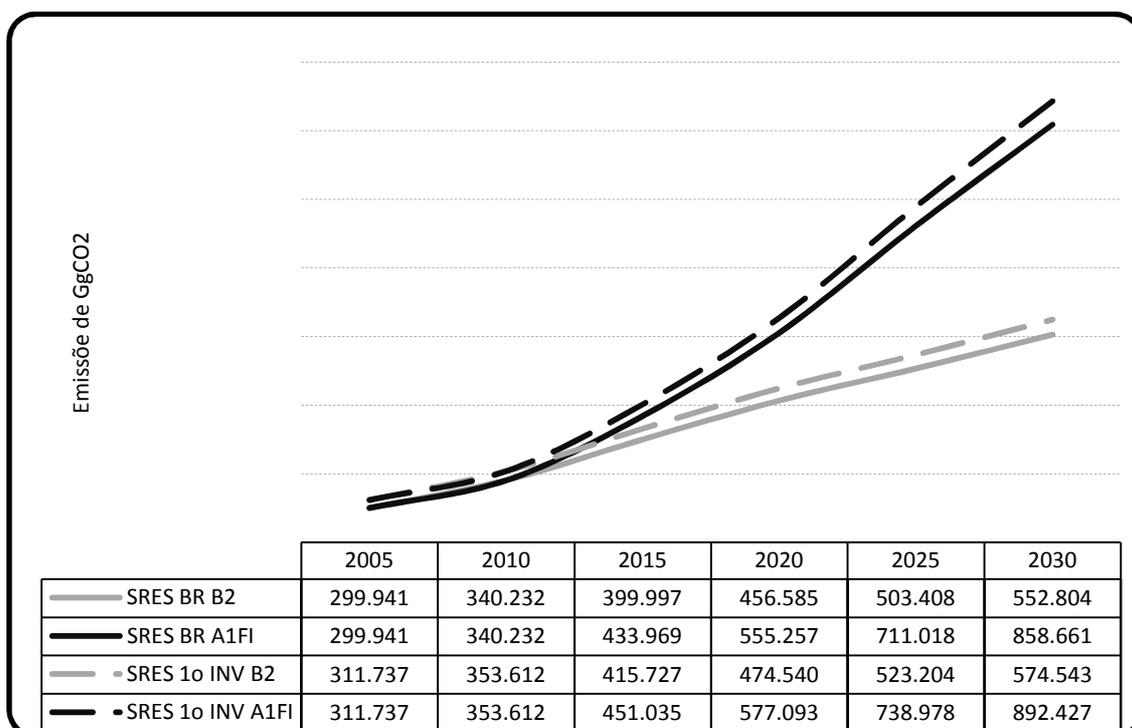
Por outro lado, os saldos dos anos de 2005 são os mesmos em ambos cenários por se referirem a dados divulgados por fonte oficial e refletirem fato ocorrido. Já para o ano de 2010, os saldos também são idênticos para ambos cenários, mas pelo fato de o modelo JCM considerar para os anos pretéritos os mesmos parâmetros inerentes à região de referência para todos os cenários, ou seja, todas as variáveis motrizes que influenciam os respectivos resultados são comuns a todos os cenários e refletem a configuração real apresentada, no caso pela Região ALM e, por extrapolação também para o Brasil, em cada ano da projeção. Os saldos e a variação (%) de cenários B2 e A1FI entre os dois Inventários, também se apresentam na Tabela 27, a seguir. No Gráfico 9, as linhas pontilhadas se referem aos respectivos cenários baseados no Primeiro Inventário Brasileiro e as linhas sólidas se referem aos mesmos cenários, só que baseados no Segundo Inventário Brasileiro.

**Tabela 27: Projeções de emissões brasileiras de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis com base no Primeiro e Segundo Inventários Brasileiros de Emissões de GEE entre 1994 e 2030**

Ano	1º Inventário Brasileiro		2º Inventário Brasileiro		Saldo entre cenários	
	ALM B2	ALM A1FI	SRES BR B2	SRES BR A1FI	B2	A1FI
1994	231.408	231.408				
2000	269.934	269.934				
2005	320.324	320.324	299.941	299.941	-11.796	-11.796
2010	353.612	353.612	340.232	340.232	-13.381	-13.381
2015	415.727	451.035	399.997	433.969	-15.731	-17.067
2020	474.540	577.093	456.585	555.257	-17.956	-21.837
2025	523.204	738.978	503.408	711.018	-19.798	-27.963
2030	574.543	892.427	552.804	858.661	-21.741	-33.769
Var. (%)	-	-	-	-	3,9%	

Fonte: JCM (2011) e MCTI (2010), com adaptação de PETROBRAS (2011).

**Gráfico 9: Projeções de emissões em GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis a partir do SRES BR (cenários B2 e A1FI), do Primeiro e Segundo Inventários Brasileiros de Emissões entre 2005 e 2030**



Fonte: JCM (2011) e MCTI (2006 e 2010), com adaptação de PETROBRAS (2011).

## 4.2. Projeções do *International Energy Outlook 2011 (IEO2011)*

O *International Energy Outlook 2011 - IEO2011* (EIA, 2011a), publicação da Agência de Informação sobre Energia do Governo dos Estados Unidos da América (em inglês *United States Energy Information Administration - EIA*), apresenta uma avaliação das perspectivas para os mercados internacionais de energia até o ano de 2035. As projeções constantes no IEO2011 (EIA, 2011a) são consistentes com as publicadas no *Annual Energy Outlook (AEO)* de 2011 e 2012 (EIA, 2011b & 2012). Até a conclusão deste trabalho, não havia sido publicada a edição 2012 do *International Energy Outlook*.

Esta agência de informação, vinculada ao Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (US/DOE), consiste no principal órgão norte-americano de pesquisas sobre energia, realizando periodicamente a coleta, análise e divulgação de informações relacionadas ao consumo e oferta de energia por fontes primárias e secundárias. No âmbito de interesse do presente trabalho, a base do IEO2011 fornece dados referentes ao petróleo, gás natural, carvão mineral e para o conjunto de combustíveis líquidos. Na intenção de contribuir para governos e instituições na promoção de políticas eficientes de energia e sua interação com a economia e o meio ambiente, o EIA disponibiliza análises e projeções de dados como de emissões de dióxido de carbono concernentes aos grupos de países da OCDE e não-OCDE, assim como alguns dados de abrangência nacional, como é o caso do Brasil.

As projeções do IEO2011, realizadas até o ano de 2035, se baseiam no banco de informações provenientes do “Sistema Nacional de Modelagem”, da própria EIA, e abordam nesta edição três conjuntos de cenários, tanto para consumo quanto para nível de emissões por fonte:

- Cenário de Referência: cujas projeções não incorporam acordos ou políticas que possam afetar os mercados de energia;
- Cenário de Alta dos Preços do Petróleo: procura visionar a evolução da oferta, demanda e nível de emissões de CO<sub>2</sub> sob a perspectiva de elevação dos preços do petróleo no mercado futuro internacional, aliando análises simplificadas de conjuntura quanto à direção de investimentos, maior inserção de fontes alternativas e recomposição das matrizes energéticas de alguns países;

- Cenário de Baixa dos Preços do Petróleo: realiza as mesmas análises do cenário anterior, só que considerando um ambiente futuro de baixa de preços do petróleo no mercado futuro.

Na construção destes cenários, o IEO2011 considerou uma série de variáveis, a exemplo de dados sócioeconômicos como demografia, Produto Interno Bruto (PIB), consumo percapita, bem como dados correlacionados ao setor energia, como oferta e demanda total e de algumas fontes energéticas, diferentes preços do barril de petróleo aplicados no mercado internacional, intensidade energética dos países, incorporação/desenvolvimento de energias alternativas, nível tecnológico e capacidade instalada de produção/geração de energia, dentre outros.

O documento do IEO2011 destaca que, na medida do possível, as projeções foram baseadas em leis, regulamentos e normas vigentes ou firmados até o início de 2011. Desta forma, os impactos potenciais ou mudanças significativas que possam advir de legislações, regulamentos, normas e propostas nacionais e internacionais que se encontravam em discussão e/ou processo de implementação após este prazo, não foram considerados nas referidas projeções. Além disso, também não foram considerados os mecanismos regulatórios, cuja aplicação ainda não pode ser modelada ou cujos impactos sobre o setor energético não sejam bem definidos, a exemplo do sistema europeu de comércio de emissões (“*European Union’s Emissions Trading System*”), que abrange 31 países e se configura em importante ferramenta da política da União Europeia no auxílio ao combate da mudança climática e redução das emissões de GEE em diversos segmentos industriais, de produção de energia e de transportes.

Diferente das projeções feitas pelo SRES IPCC, o IEO2011 apresenta cenários que assumem o ano de 2008 como o último dos dados históricos, estendendo suas projeções até o ano de 2035. As estimativas futuras do consumo mundial e nacionais de energia foram geradas a partir do sistema de modelagem *World Energy Projections System Plus* (WEPS+), de elaboração e aplicação do próprio EIA. O WEPS + é um sistema modular, que consiste de diferentes modelos de energia que são unidos entre si por meio do modelo de sistema global que os correlacionam. Cada um desses modelos são desenvolvidos de forma independente e projetados com protocolos bem definidos visando a interatividade do sistema de comunicação.

O sistema de modelagem WEPS+ usa uma técnica iterativa que permite a convergência de informações, como de consumo e preço, que possibilita um equilíbrio simultâneo das interações de um banco de dados comum e compartilhado usado para

construir as projeções de referência para consumo de energia, bem como projeções alternativas, todas baseadas em diferentes pressupostos, tal como variação do PIB e preços dos combustíveis fósseis.

O modelo foi desenvolvido para rodar informações de variados países, organizados em dois grupos de regiões geográficas: Região OCDE (Estados Unidos da América, Canadá, México, Chile, Japão, Austrália, Nova Zelândia, OCDE Europeia e Coreia do Sul); e Não-OCDE (Rússia, China, Índia, outros países europeus e asiáticos Não-OCDE, África, Oriente Médio, Brasil e outros países da América Latina). Observa-se que o modelo cobre todas as macro-regiões SRES IPCC.

As projeções da produção de gás natural e de seu mercado foram geradas a partir do *International Natural Gas Model* (modelo INGM), inerente ao WEPS+, é um sistema baseado em informações de abastecimento de energia e é usado principalmente para estimar o preço regional de varejo e atacado do gás natural. Embora seja um dos 13 componentes do sistema de modelagem WEPS+, também pode ser executado como um modelo, de operacionalização separada. Este modelo estima a produção de gás natural, demanda e comércio internacional, combinando as estimativas das reservas, recursos e custos de extração, energia demandada, custos de transporte e capacidade de produção futura estimada.

Como o sistema de modelagem do EIA considera que a demanda por líquidos impulsionando a produção, o *Generate World Oil Balance* (GWOB), outro modelo do sistema, é usado para criar uma projeção "*bottom up*" da oferta mundial de líquidos com base na atual capacidade de produção, planejamento futuro de incremento de capacidade, dados de recursos, fatores geopolíticos e variações do preço do petróleo, gerando um caso convencional de produção de petróleo bruto.

Os valores convencionais de produção no curto prazo (até 2015) são gerados por país com base no conhecimento da produção existente e dos investimentos previstos. Para as estimativas de produção feitas a médio prazo (ou após 2015), são assumidos como base, principalmente, a disponibilidade de recursos e a viabilidade econômica de produção. Fatores geopolíticos e outras restrições são avaliadas para cada caso em separado, o que diferencia a série temporal entre os países. Para alguns, como o Brasil, o WEPS+ consegue estimar dados até 2035, um dos motivos pelos quais as projeções do EIA foram consideradas neste trabalho.

O Cenário de Referência considera que a recessão econômica mundial, iniciada no final de 2007 e que se intensificou em muitos países do globo ao longo dos anos de 2008 e 2009, impactou de forma substancial a demanda mundial de energia no curto

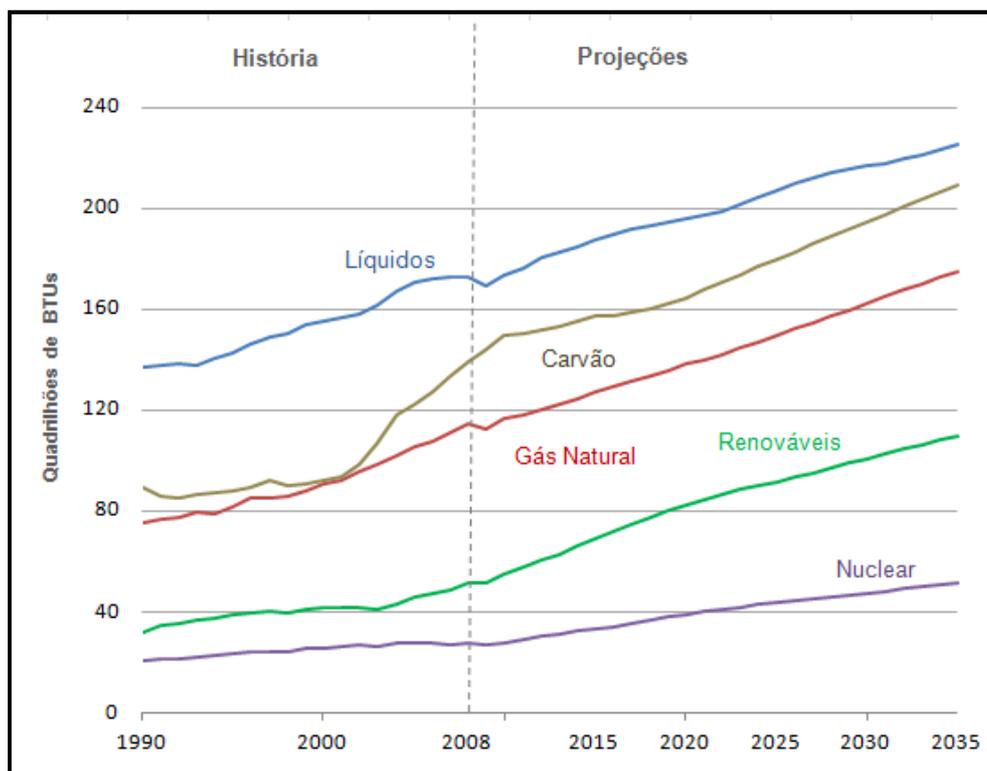
prazo e, mesmo que a partir de 2011 tenham-se apresentado os primeiros sinais de recuperação, o ritmo de consumo mundial permanece irregular. De todo modo, este cenário considera que a situação econômica melhora e a maioria das nações volta a seguir os caminhos do crescimento econômico que eram previstos antes do início da recessão.

Por este cenário, o consumo mundial de energia comercializada aumentará 53% entre 2008 e 2035, sendo que o mais rápido crescimento na demanda ocorrerá em países Não-OCDE, conjunto que aumenta o consumo de energia em 85%, em comparação com o aumento de 18% no consumo entre economias da OCDE. Este resultado se deve ao fato de o crescimento do PIB no longo prazo das economias emergentes Não-OCDE, tornar crescente suas demandas de energia. Em todas as regiões Não-OCDE as atividades econômicas medidas pelo PIB, em paridade de poder de compra, aumentam em média 4,4% ao ano, em comparação com uma média de 2,0% ao ano nos países da OCDE (EIA, 2011).

No Cenário de Referência registra-se um aumento do consumo mundial de energia a partir de todas as fontes de combustível, como observado pelo Gráfico 10, apresenta o consumo mundial de energia por combustível entre 1990 e 2035. Por suas projeções, os combustíveis fósseis continuam a fornecer grande parte da energia utilizada no mundo.

No entanto, mesmo que os combustíveis líquidos a partir do petróleo permaneçam como as principais fontes de energia demandadas, a participação destes no comércio mundial decresce cerca de 34% de 2008 para 29% em 2035, pelo fato de os altos preços do petróleo no mercado mundial conduzirem muitos consumidores de energia a optarem, quando possível, por outras alternativas aos combustíveis líquidos (EIA, 2011). O conjunto de energias renováveis registram crescimento mais rápido cuja participação no consumo mundial de energia aumenta de 10% em 2008 para 14%, em 2035, no caso cenário de referência.

**Gráfico 10: Consumo mundial de energia por combustível (1990-2035)**



Fonte: (EIA, 2011)

Segundo o IEO2011, o mundo ainda se recupera da recessão global de 2008-2009, e de forma desigual, em que as economias desenvolvidas acumulam índices econômicos baixos, tornando a recuperação lenta em comparação com recessões passadas. Além disso, outros eventos têm agravado a incerteza associada quanto ao mercado de energia. Os preços do petróleo aumentaram em 2010 como resultado do crescimento da demanda, associado a sinais de recuperação econômica, e pela falta de uma resposta efetiva pelo lado da oferta.

Os preços, que já vinham registrando altas entre 2008 e 2009, foram impulsionados ainda mais no final de 2010 e em 2011, principalmente pelo ambiente de incerteza em várias economias do Oriente Médio e da África, por conta de conflitos sociais e políticos. Os preços do petróleo no mercado internacional passaram de aproximadamente US\$ 82 o barril no final de novembro de 2010, para mais de US\$ 112 por barril em abril de 2011 (EIA, 2011).

Nestes últimos anos, os preços do petróleo têm sido especialmente sensíveis às expectativas de demanda, com os produtores, distribuidores e compradores continuamente procurando uma indicação de possível recuperação do crescimento econômico mundial e um provável aumento correspondente na demanda de derivados.

Dentre as variadas considerações, o Cenário de Referência do IEO2011 assume que a partir de 2015, a maioria das nações do mundo retomará suas taxas de crescimento de longo prazo aos correspondentes níveis antes da recessão. O PIB mundial aumentará em média de 3,2% ao ano entre 2008 e 2035, com as economias Não-OCDE registrando uma taxa média de crescimento de 4,4% ao ano, enquanto as economias dos países membros da OCDE não ultrapassarão 2% ao ano, em média.

Historicamente os países membros da OCDE foram responsáveis pela maior parcela do consumo mundial de energia. No entanto, como verificado a partir de 2007, o consumo registrado entre os países Não-OCDE supera o consumo dos países da OCDE. E a expectativa é de que a discrepância entre o consumo destes dois grupos de países aumente no futuro, devido à previsão de crescente necessidade demanda acelerada por suprimento de energia nas economias emergentes não membros desse bloco econômico (EIA, 2011). Assim as economias emergentes, principalmente China, Brasil, Rússia e Índia, terão importante papel no mercado energético mundial, sendo responsáveis pelo aumento da demanda de energia e respectivamente do consumo de todos os combustíveis líquidos, ultrapassando e deslocando o consumo do bloco OCDE.

Além disso, é considerado que os consumos de todas as fontes de energia aumentarão ao longo do horizonte de tempo projetado. Em contrapartida, dadas as expectativas de que os preços mundiais do petróleo permanecerão relativamente elevados durante a maior parte do período de projeção (2008-2035), os consumos dos combustíveis líquidos e outros derivados de petróleo apresentarão um crescimento mais lento.

Neste sentido, espera-se que o consumo de combustíveis líquidos aumente a uma taxa média anual de aproximadamente 1% no período, ao passo que a demanda total de energia crescerá 1,5% ao ano. Diante desta perspectiva, e conforme atuais estimativas da EIA, as energias renováveis serão as fontes de mais rápido crescimento (de 2,6% ao ano). O aumento projetado para o petróleo, bem como a preocupação com os impactos ambientais advindos do uso dos combustíveis fósseis e os fortes incentivos governamentais para a expansão do uso de fontes renováveis de energia, ampliarão as perspectivas de fontes alternativas, principalmente de renováveis.

O IEO2011, além do Cenário de Referência, faz uso também de cenários que consideram alterações no preço do petróleo como forma de verificar a sensibilidade das projeções a essa variável. Os efeitos de diferentes hipóteses sobre os preços

futuros do petróleo são apresentados no IEO2011 para dois casos de preços alternativos petróleo: Projeções de Alta do Preço do Petróleo e Projeções de Baixa no Preço do Petróleo.

No caso das projeções de alta do preço do petróleo, os preços no mercado internacional subiriam de US\$ 59 por barril em 2009 para cerca de US\$ 210 por barril em 2035 e, no caso das projeções de queda no preço do petróleo, os preços cairiam em média para US\$ 52 por barril em 2015 e, permaneceria em um nível realístico até 2035. Apenas para efeito de comparação, no Cenário de Referência os preços internacionais do petróleo alcançariam o valor de US\$ 133 por barril em 2035.

#### **4.3. Comparação das projeções de emissões de CO<sub>2</sub> do SRES BR com o cenário de referência do IEO2011 / EIA**

Juntamente com as projeções de consumo e oferta de combustíveis, a *US Energy Information Administration* (EIA) apresenta em todos os relatórios anuais do *International Energy Outlook* desde 1995, resultados das emissões de dióxido de carbono por combustíveis. Neste último relatório (IEO2011), são apresentados e analisados os dados de emissões de CO<sub>2</sub> para os anos de 2006, 2007 e 2008, bem como projeções para o período de 2015 a 2035, a cada quinquênio. Desta forma, os anos coincidentes quanto à disponibilização de dados entre esta base de informações e a estruturada pelo SRES BR são os de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2030.

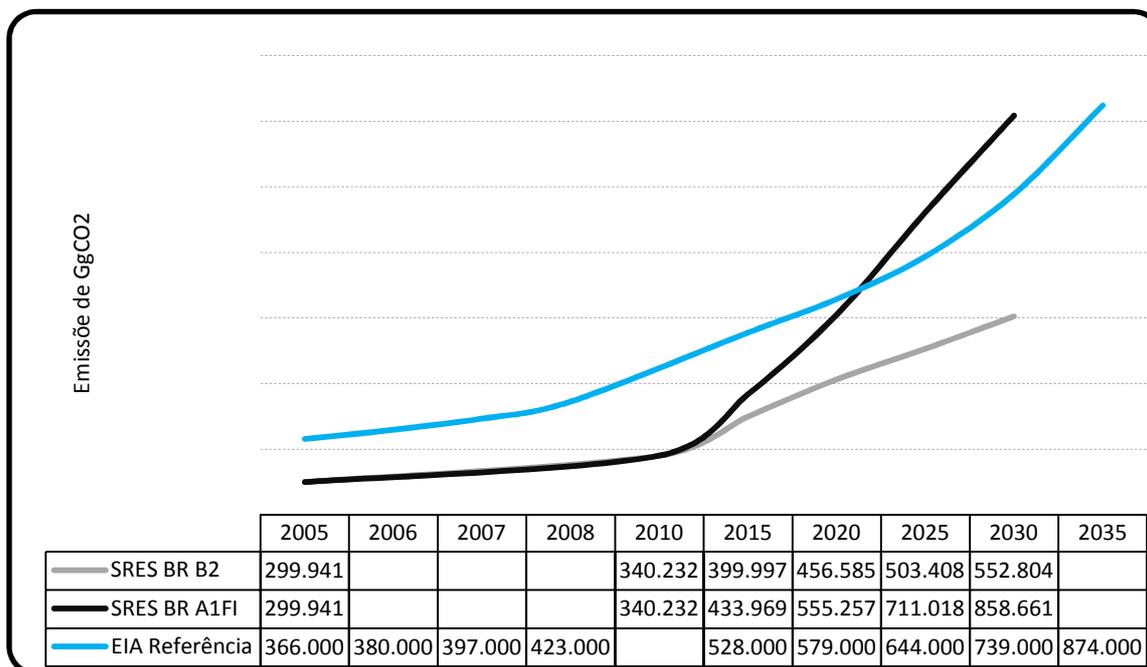
Destaca-se que, embora seja possível, por meio de relatórios anteriores do IEO/EIA, se obter dados pretéritos das emissões de energia segundo o modelo WEPS+, optou-se por coletar apenas o de 2005, da edição anterior do IEO (EIA, 2010), de modo a perfazer o conjunto da análise proposta inicialmente. Para efeito deste estudo, foram assumidos os resultados das emissões de CO<sub>2</sub> segundo os três cenários da EIA, o de Referência e os outros dois cenários alternativos que consideram situações futuras sob as hipóteses de alta e baixa do preço do petróleo descrito no capítulo anterior.

Como as projeções da EIA se referem às regiões do mundo e os principais países destas, sendo o Brasil o único em destaque na região da América Central e Sul, foi possível fazer uma comparação destes resultados junto àqueles aferidos pelo SRES IPCC para o caso brasileiro através do modelo JCM. Vale destacar que procurou-se compatibilizar todos os anos possíveis na análise entre os dois conjuntos de cenários, SRES BR e EIA.

Os dados das emissões pela EIA, disponibilizados em milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> foram convertidos para GgCO<sub>2</sub>, de forma a padronizar a comparação com os dados extraídos do JCM, bem como apresentado no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões. Neste sentido, apresentam-se pelo Gráfico 11 os resultados das projeções SRES BR (B2 e A1FI) pelo Segundo Inventário, frente aos discriminados pelo Cenário de Referência da EIA para o total dos conteúdos de combustíveis líquidos, gás natural e carvão, referentes às perspectivas de consumo para o Brasil.

Os valores das emissões em GgCO<sub>2</sub> encontram-se discriminados na tabela anexa ao próprio Gráfico 11, pelo qual se depreende que a curva do Cenário de Referência da EIA apresenta trajetória semelhante à curva do cenário SRES BR B2, mesmo que em magnitudes diferentes. O desvio entre a curva ilustrativa do cenário de referência do EIA e a média ponderada das duas curvas SRES BR B2 foi de aproximadamente 16% em 2007, de 8% em 2020 e de 12% em 2030. Pode-se considerar esta diferença razoável uma vez que a família B2 leva em conta parâmetros que prestigiam uma maior preocupação dos países com a proteção ambiental e equidade social e que, por outro lado, o cenário de referência do EIA considera um aumento da demanda de energia de todas as fontes de combustível, principalmente pelas economias emergentes de países não-OCDE como resultado do crescimento regular do Produto Interno Bruto (PIB) nestes países e da melhora da situação econômica pós-período de recessão iniciado em 2008.

**Gráfico 11: Emissões (GgCO<sub>2</sub>) associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do SRES BR (B2 e A1FI) e do IEO2011 / EIA (Cenário de Referência) entre 2005 e 2035**



Fonte: EIA (2011) e JCM (2011), com adaptação de PETROBRAS (2011).

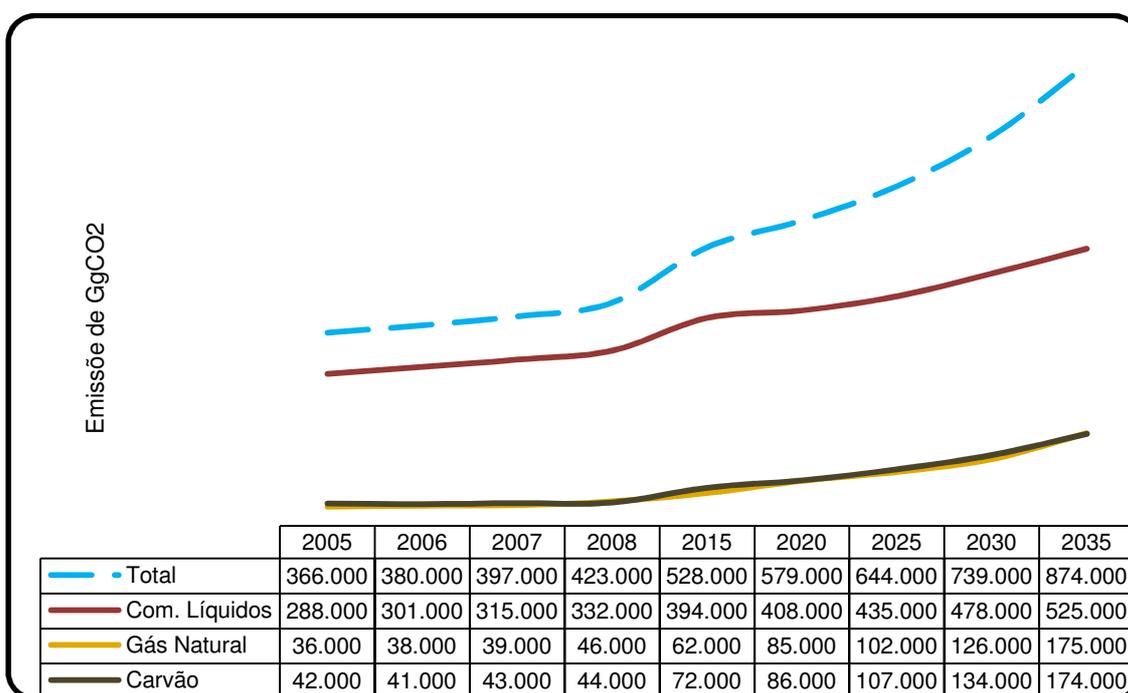
Em outra análise, o cenário de referência do EIA prevê que as fontes de energia renovável, seja pela hidroeletricidade como pela produção de biocombustíveis - fundamentalmente etanol e biodiesel, serão as que apresentarão maior crescimento percentual até 2035, mesmo considerando que os combustíveis fósseis continuem a ter peso relevante na matriz energética brasileira. Além do aumento de investimentos em hidroeletricidade, isto se dará também pelo aumento de consumo de combustíveis líquidos no Brasil, como evidenciado pelo Gráfico 12, que discrimina os cenários de referência do EIA segundo os três tipos de combustíveis analisados (combustíveis líquidos, gás natural e carvão) mais o total destes que concerne ao Cenário de Referência do EIA para o Brasil, apresentado no gráfico anterior.

Proporcionalmente, segundo as previsões da EIA, o combustível que mais aumentará o peso de suas emissões entre 2005 e 2035 será o gás natural, com 10,2 pontos percentuais de variação (passando de 9,8% em 2005, para 20% em 2030) seguido do carvão com variação de 8,4 pontos percentuais (11,5% e 19,9%). Já os combustíveis líquidos, embora registrem aumento de consumo, este se dá em proporções inferiores aos outros dois tipos, perdendo assim peso no total de emissões brasileiras de combustíveis em 2030, registrando queda acumulada de 18,6 pontos percentuais ao longo do período – estes respondiam por 78,7% das emissões de 2005

e, conforme projeção EIA, responderão por 60,8% do total das emissões de combustíveis em 2030.

Quanto à evolução das emissões entre 2005 e 2035, o gás natural aumenta seu nível em 386,1%, e o carvão, em 314,3%. Ambos por reflexo do aumento do consumo proporcional que é previsto. Já quanto aos combustíveis líquidos, aumentam o nível de emissões em 82,3%, enquanto que o consumo para o mesmo período aumenta em 77,3%. Destacando-se que combustíveis provenientes de fontes renováveis como etanol e biodiesel, também são considerados pelo IEO2011/EIA na contabilização de líquidos, e que a agência preveja elevação significativa de renováveis na matriz, estes resultados demonstram que, no caso do Brasil, o aumento destes combustíveis se deu em menor proporção que o aumento do uso de derivados de origem fóssil. Ou seja, a cota parte do mercado nacional de líquidos seria ainda desfavorável para uma maior representatividade dos renováveis.

**Gráfico 12: Emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao consumo brasileiro de combustíveis líquidos, gás natural e carvão segundo projeções do U.S. Energy Information Administration - EIA (Cenários de Referência) entre 2005 e 2035**



Fonte: EIA (2011).

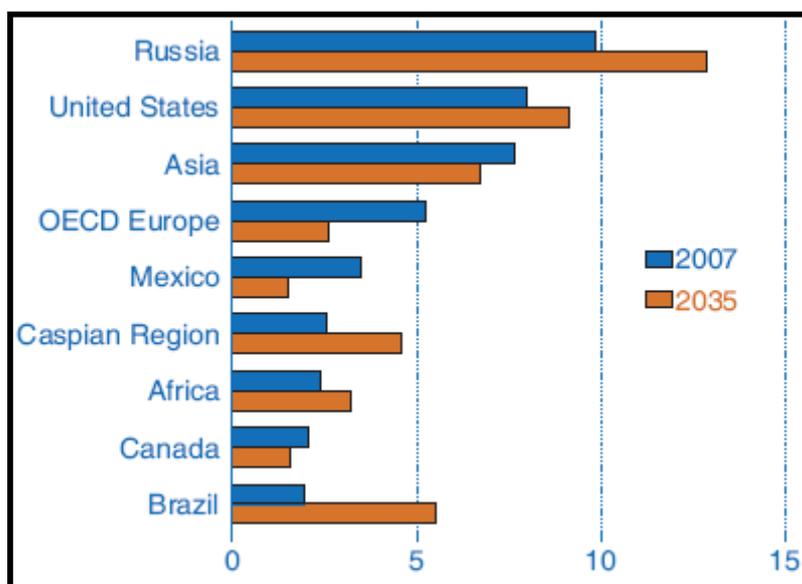
Isto considerando, segundo análise da própria EIA, a manutenção do preço do petróleo em patamares elevados nas próximas duas décadas e uma maior preocupação generalizada com os impactos ambientais resultantes da produção e consumo de combustíveis fósseis. Perante estes resultados, fica subentendido que o

aumento da demanda por derivados fósseis poderá se dar em uma velocidade superior à capacidade nacional de oferta de líquidos renováveis, mesmo considerando possíveis incentivos governamentais visando uma expansão do uso destas fontes de energia e disseminação/adoção de tecnologias sustentáveis.

Cabe ainda destacar nesta análise, que o relatório IEO2011 do EIA, considera outra configuração em suas projeções, relacionando a perspectiva de maturidade dos grandes campos de produção de regiões não-OPEP ao aumento da produção de petróleo e derivados a partir dos novos campos do pré-sal no Brasil, prevendo-se que o país será um dos quatro maiores produtores não-OPEP nas próximas décadas ao lado de Rússia, Estados Unidos e Cazaquistão (outro país asiático), fazendo com que não somente torne mais favorável o consumo interno como também passe a figurar como importante player exportador de petróleo – vide Gráfico 13.

Isto pode explicar, em alguma medida, a grande diferença a partir de 2020 entre os resultados das emissões do cenário de referência do EIA para o Brasil e os resultados aferidos pelo SRES BR A1FI, que considera uso intensivo de fontes fósseis. Graficamente, fica mais evidente que as curvas SRES A1FI assumem uma trajetória mais inclinada que a curva de referência brasileira do IEO2011 a partir de 2020.

**Gráfico 13: Produção de líquidos convencionais por região não-OPEP, 2007 e 2035 (milhões de barris por dia)**



Fonte: EIA (2010).

#### 4.4. Projeções de emissões dos Cenários Alternativos do IEO2011 / EIA

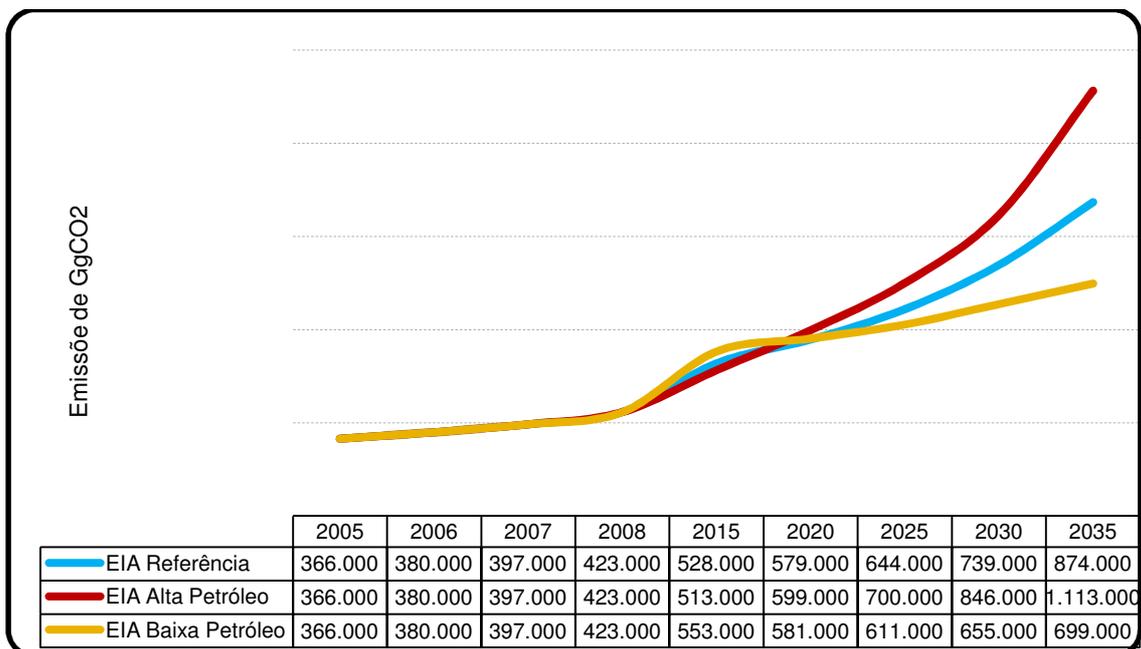
Seguindo o mesmo método aplicado anteriormente, foram consideradas as projeções do EIA que destacam o Brasil dentro da região da América Central e Sul, umas das grandes regiões contempladas pela análise da EIA. Da mesma forma como aplicado ao cenário de referência, os dados das emissões dos cenários alternativos do EIA, disponibilizados em milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>, foram convertidos para GgCO<sub>2</sub>.

Neste sentido, apresentam-se pelo Gráfico 14 os resultados das projeções dos dois Cenários Alternativos considerados pela EIA - o de **Alta de Preços do Petróleo** e o de **Baixa de Preços do Petróleo**, sendo computados da mesma forma que o Cenário de Referência (também apresentado no gráfico), ou seja, considerando-se o total do consumo de combustíveis líquidos, gás natural e carvão no Brasil.

Embora o relatório da EIA destaque o Cenário de Referência, valendo-se deste nome como diferenciação aos Cenários Alternativos, se depreende que estes últimos também se referem a cenários BAU (*Business-as-usual*), justamente pelo entendimento de que estes cenários, ao contemplarem mudanças na trajetória do consumo de combustíveis (principalmente derivados) em virtude de mudanças nos preços internacionais do petróleo, não se configuram necessariamente em cenários de políticas de mitigação. Contudo, foi realizada uma breve análise destes visando contribuições para o conjunto do trabalho.

No período de trinta anos considerado pela EIA, registrou-se uma evolução das emissões brasileiras de cerca de 204% no Cenário Alta dos Preços do Petróleo e de 91% pelo Cenário Baixa dos Preços do Petróleo. O Cenário de Referência registrou 138,8%. Isto indica que, pelas projeções do IEO2011/ EIA, o nível de emissões provenientes do consumo de energia no Brasil se tornará progressivamente sensível às variações na demanda de derivados de petróleo, mesmo considerando que a base da matriz energética brasileira continuará sendo renovável. Em 2035, a diferença das emissões de energia poderá chegar a 414.000 GgCO<sub>2</sub>, conforme os dados apresentados pelo Gráfico 14.

**Gráfico 14: Emissões brasileiras (GgCO<sub>2</sub>) associadas ao consumo de combustíveis segundo projeções do IEO2011/ EIA (Cenário de Referência e Cenários Alternativos) entre 2008 e 2035**



Fonte: EIA (2011).

#### **4.5. Projeções do World Energy Outlook 2012 (WEO2012) da International Energy Agency (IEA)**

Dentre as bases de informações da Agência Internacional de Energia (em inglês, *International Energy Agency / IEA*), organismo que desenvolve um programa de cooperação energética entre 28 economias avançadas – a maioria membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), verificou-se por meio do relatório anual *World Energy Outlook (WEO)* dos anos de 2008, 2010 e 2012, resultados das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> para os anos de 2005 a 2008, 2010 e projeções para os anos de 2015, 2020, 2025, 2030 e 2035, segundo três diferentes cenários.

A IEA realiza este estudo baseando-se em diferentes estudos de casos e cenários globais, avaliando a conjuntura do mercado global de energia e a forma como novos investimentos, inclusive em eficiência energética, poderão afetar as tendências mundiais da energia e do clima nas próximas décadas. Além disso, analisa o impacto e desafios que se apresentam ao sistema de energia: “satisfazer as crescentes necessidades mundiais de energia, sustentadas pelo aumento dos rendimentos e da população nas economias emergentes; facultar o acesso à energia das populações mais pobres do mundo; e cumprir os objetivos mundiais em matéria de mudanças climáticas” (IEA, 2012).

Na intenção de ampliar suas perspectivas relacionadas à energia e emissões de gases estufa, desde a edição de 2010 do *World Energy Outlook 2010* (IEA, 2010), a IEA passou a incluir um novo conjunto de projeções em suas análises que traduzem no Cenário de Novas Políticas, no qual se inserem as futuras ações tomadas pelos governos com vista a cumprirem os seus compromissos face às mudanças climáticas e à crescente incerteza quanto ao uso da energia.

Deste então, os relatórios do WEO passaram a trabalhar com três cenários, um classificado como Cenário de Políticas Atuais (Cenários de Referência ou BAU) e dois denominados de Cenários Alternativos (Novas Políticas e 450ppm CO<sub>2</sub>eq), estes últimos considerando políticas e acordos afins com o tema da mudança do clima ou pressupostos de medidas de mitigação. Estes três cenários apresentam resultados para diferentes regiões do globo, bem como para alguns países, como é o caso do Brasil. Tendo em vista a pesquisa em diferentes relatórios WEO (IEA, 2008, 2010 e 2012), os anos passíveis de comparação entre os cenários SRES BR com os respectivos da agência encontram-se discriminados abaixo. Conseguiu-se obter uma

série mais completa para o Cenário Novas Políticas, por este ser considerado um cenário central pelos relatórios do WEO:

- **Cenário Políticas Atuais:** anos de 2005 a 2008, 2020, 2030 e 2035;
- **Cenário Novas Políticas:** anos de 2005 a 2008, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030 e 2035;
- **Cenário 450ppm CO<sub>2</sub>eq:** anos de 2005 a 2008, 2020, 2030 e 2035.

O Cenário Novas Políticas possibilita quantificar o impacto potencial nos mercados energéticos onde esses compromissos políticos forem implementados, comparando-o com um Cenário Políticas Atuais (*Current Policies Scenario*, anteriormente denominado Cenário de “Referência” - *Reference Scenario*), que não inclui nenhuma alteração das políticas atuais até meados de 2012.

Além destes, pelo WEO2012 apresentam-se também os resultados do Cenário 450ppm, que procura estabelecer uma via coerente com a meta dos 2°C e a limitação da concentração dos GEE na atmosfera em torno de 450 partes por milhão de CO<sub>2</sub> equivalente (ppm CO<sub>2</sub>eq).

Através de seu estudo mais recente, o *World Energy Outlook 2012* - WEO2012 (IEA, 2012), o IEA destaca alguns fatos que podem ser motivo de grandes mudanças na forma como o mundo obtém a sua energia. A América do Norte, com a sua emergente utilização de gás natural, será condutora de alguns avanços fundamentais e de algumas interferências no mercado energético mundial, tal como a previsão de que os Estados Unidos da América poderá atingir o ponto de autosuficiência energética em 2035.

A IEA considera que estas alterações poderão reformular as expectativas sobre o papel dos diferentes países, regiões e combustíveis no sistema energético global. Isso porque, a América do Norte está diante de uma colossal transformação na produção de gás e petróleo que afetará todas as regiões do mundo. De outro lado, o potencial existe também no que diz respeito a uma mudança similarmente transformadora na eficiência energética global, ao passo que os dados apresentados pelo WEO2012 apontam para o alcance em 2035 de uma economia em termos de recursos energéticos equivalente a um quinto da demanda global de 2010. O relatório aponta a eficiência energética como sendo tão importante quanto o abastecimento energético, sendo que a crescente atuação de governos e grandes *players* em torno da eficiência poderá incentivar uma nova ordem de produção e consumo de energia que se traduzirá em múltiplos benefícios (IEA, 2012).

Com respeito à avaliação do mercado mundial das principais fontes de energia, o WEO2012 (IEA, 2012) considera que a demanda de gás natural irá aumentar cerca de 50%, chegando a 5 trilhões de metros cúbicos em 2035. O documento avalia que o crescimento substancial da produção de petróleo e gás natural nos Estados Unidos significará uma mudança radical no fluxo energético global. De acordo com o seu Cenário de Novas Políticas (o cenário central do relatório WEO), os Estados Unidos tornam-se um exportador líquido de gás natural em 2020 e praticamente autosuficiente em termos energéticos em 2035.

As ligações entre os vários mercados regionais de gás estreitar-se-ão dado que o comércio de Gás natural liquefeito (GNL) se tornará mais flexível, prevendo-se também no período até 2035 que haverá uma tendência progressiva em direção ao gás e fontes renováveis. Ainda que a nível regional o cenário para o gás natural possa apresentar variações, a nível global as perspectivas para as próximas décadas são extremamente positivas. Cerca de metade do aumento da produção deve-se-á ao gás não convencional, na sua maioria com origem nos Estados Unidos, Austrália e China (IEA, 2012).

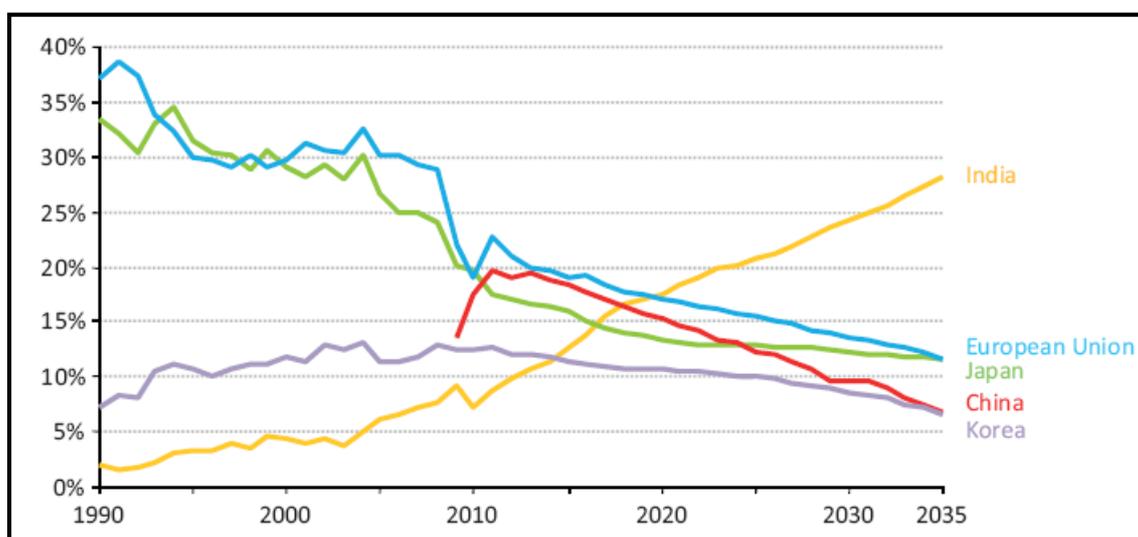
Nesse contexto, enquanto que as dinâmicas regionais sofrem algumas alterações, a demanda global aumentará, com a China, Índia e o Oriente Médio sendo responsáveis por cerca de 60% deste crescimento, aumentando um pouco as expectativas de demanda do bloco OCDE (IEA, 2012).

Conforme o WEO2012, na última década o carvão atendeu praticamente metade do aumento da demanda mundial de energia, aumentando mais fortemente do que o conjunto das fontes de energia renováveis. O forte aumento do consumo de carvão ou uma inversão desta tendência dependerá de medidas políticas robustas que visem promover as fontes de energia de menores emissões, a implementação de tecnologias mais eficientes de combustão do carvão e especialmente a tecnologia CCS (*“Carbon Capture and Sequestration”*), são considerados fundamentais no longo prazo.

As decisões políticas de maior peso no mercado mundial do carvão serão assumidas pela China e a Índia, que representam praticamente três quartos do aumento do consumo de carvão nos países não-OCDE - a utilização do carvão diminui no bloco OCDE. A procura da China atingirá um pico por volta de 2020 estabilizando-se em 2035, enquanto que a utilização do carvão na Índia continuará aumentando, tendo-se em 2025 a expectativa de que ultrapasse os Estados Unidos como segundo maior consumidor mundial deste energético.

Conforme previsto no Cenário de Novas Políticas, o comércio global de carvão continuará se elevando até 2020 - ano em que se espera que a Índia se torne o maior importador líquido de carvão, estabilizando-se a partir deste ano à medida que as importações da China diminuam (Gráfico 15). No entanto, a vulnerabilidade destas trajetórias às alterações de políticas, o desenvolvimento de combustíveis alternativos (por exemplo, o gás não convencional na China) e a necessidade antecipada por infraestruturas, geram muitas incertezas para os mercados e preços do carvão vapor (carvão energético).

**Gráfico 15: Distribuição (%) dos maiores importadores de carvão no comércio global pelo Cenário Novas Políticas (1990 – 2035)**



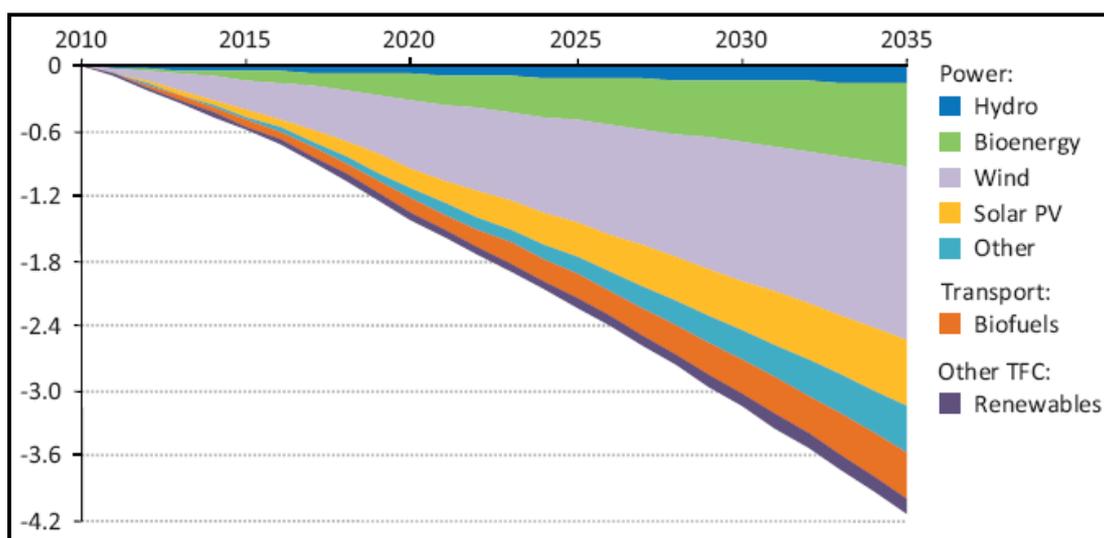
Fonte: IEA (2012)

Apesar de todos os recentes avanços e da implementação de novas políticas, o mundo não conseguiu ainda ajustar o sistema global de energia a trajetória mais sustentável. Para que isso ocorra, como destacado no WEO2010 (IEA, 2010), considera-se que as perspectivas mundiais da energia até 2035 dependem de uma forma crítica das ações políticas governamentais e da maneira como essas ações afetarão a tecnologia, o preço dos serviços energéticos e o comportamento dos utilizadores finais.

Conforme as projeções do WEO2012, a demanda de energia mundial aumentará mais de um terço até 2035 no Cenário Novas Políticas, no qual a China, a Índia e o Oriente Médio representarão 60% desse aumento. Nos países da OCDE, o aumento da procura de energia será menos expressivo e com a previsão de maior substituição do petróleo, carvão e, em certos países, da energia nuclear pelo gás natural e energias renováveis (IEA, 2012).

Como forma de mensurar o benefício com a substituição de fósseis para geração de eletricidade, apresenta-se pelo gráfico 20 (IEA, 2012) a possível redução de emissões em pentagramas de dióxido de carbono ( $\text{PgCO}_2$ )<sup>30</sup> ao longo do período a partir de fontes renováveis, em comparação com as emissões que foram geradas para o nível projetado de geração de eletricidade no Cenário Novas Políticas caso não houvesse mudança no mix de combustíveis e tecnologias, bem como nenhuma mudança na eficiência das usinas de geração térmica a partir de 2010. Contudo, apesar do crescimento das fontes de energia de emissões de carbono reduzidas, os combustíveis fósseis continuam a prevalecer na matriz energética global, apoiado por um total de 523 milhões de dólares de subsídios em 2011, quase 30% a mais que 2010 e seis vezes mais que os subsídios às fontes de energia renováveis.

**Gráfico 16: Projeção da redução de emissões de  $\text{PgCO}_2$  a partir de uma maior utilização de energias renováveis, em relação ao mix de combustíveis no Cenário Novas Políticas em 2010 (2010-2035)**



Fonte: IEA (2012). Nota: TFC - consumo final total (*total final consumption*).

As sucessivas edições do WEO têm reforçado que o objetivo climático de limitar o aumento da temperatura a 2°C tornar-se cada vez mais difícil e custoso à medida que os anos passam. O Cenário 450ppm examina as ações necessárias para se atingir este objetivo e considera que praticamente 4/5 das emissões admissíveis de  $\text{CO}_2$  em 2035 já provirão das centrais elétricas, das indústrias, etc. Se não forem tomadas medidas para redução das emissões de  $\text{CO}_2$  antes de 2017, todas as emissões de  $\text{CO}_2$  admissíveis serão comprometidas antecipadamente pelas infraestruturas energéticas existentes neste ano. Cita-se como exemplo a expectativa

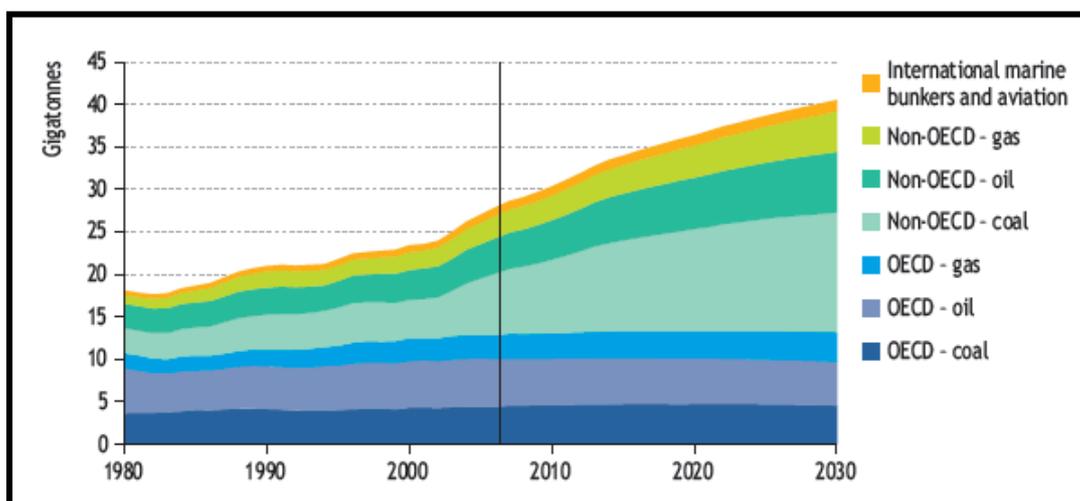
<sup>30</sup> 1  $\text{PgCO}_2$  =  $10^3$   $\text{TgCO}_2$  =  $10^6$   $\text{GgCO}_2$ .

de que a aplicação rápida das tecnologias de eficiência energética poder adiar até 2022 esse bloqueio total, conferindo um prazo adicional para se atingir o tão necessário acordo mundial de redução das emissões de GEE (IEA, 2012).

O IEA mantém posição pró-CCS em todos os relatórios analisados, creditando a esta tecnologia a principal alternativa de curto prazo de forma a viabilizar um ajuste no mercado global de energia em favor do cumprimento de metas relacionadas às mudanças do clima. No documento do WEP2012 (IEA, 2012), destaca-se que para o alcance dessas metas, considerando-se atingir o objetivo dos 2°C, mais de um terço das reservas de combustíveis fósseis atualmente conhecidas não poderão ser consumidas antes de 2050 caso a tecnologia CCS não seja amplamente difundida.

De todo modo, o Cenário Políticas Atuais do IEA considera que pelo menos nas próximas duas décadas haverá um aumento do uso global de combustíveis fósseis relacionados com o uso de energia o que conduzirá a uma elevação das emissões de CO<sub>2</sub>, conforme evidenciado no Gráfico 17, a partir do WEO2008, que discrimina as emissões de CO<sub>2</sub> no Cenário Políticas Atuais segundo fontes de energia entre 1980 e 2030.

**Gráfico 17: Emissões de PgCO<sub>2</sub> relacionadas com energia no Cenário Políticas Atuais por combustível e região entre 1980 e 2030**

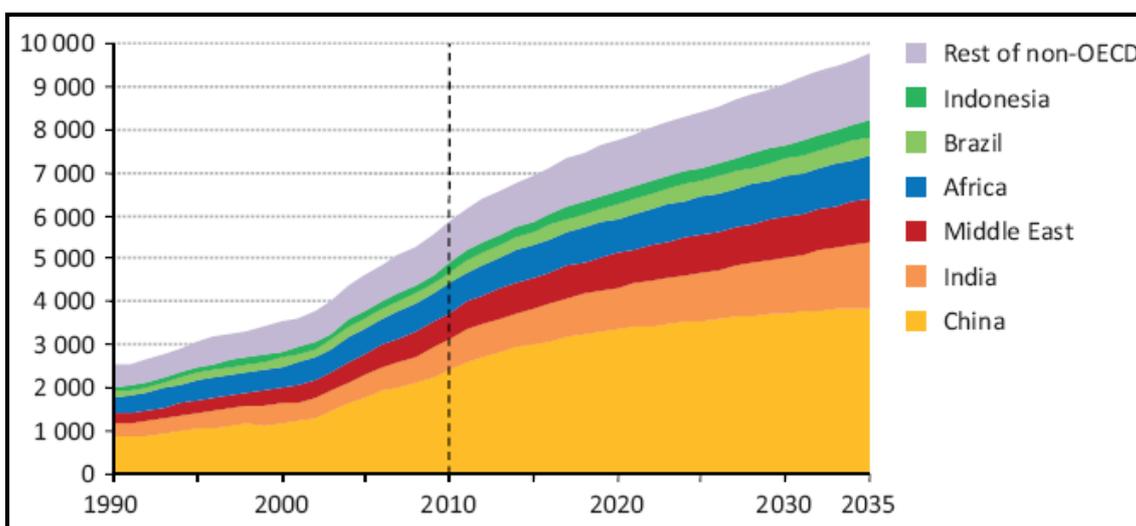


Fonte: IEA (2008)

Segundo análise da própria IEA, nos últimos anos um conjunto de políticas governamentais, incluindo os relacionados às alterações climáticas, poluição do ar e segurança energética, tem contribuído para a diminuição da taxa de crescimento destas emissões em alguns países. No entanto, na maioria das economias, as

emissões de GEE ainda estão aumentando significativamente. As emissões mundiais relacionadas ao uso de energia cresceram 2,5 gigatoneladas de dióxido de carbono (GtCO<sub>2</sub>) ou 2,5 petagramas (PgCO<sub>2</sub>)<sup>31</sup> entre 1990 e 2000, sendo que até o ano de 2006, as emissões haviam disparado em 4,5 PgCO<sub>2</sub>, alcançando a marca de 28 PgCO<sub>2</sub> ou 28 milhões de GgCO<sub>2</sub>. Cabe destacar que a IEA relaciona os países não membros da OCDE, principalmente os emergentes, como os principais responsáveis por quase todo o crescimento projetado das emissões mundiais até 2035 (IEA, 2012), conforme indicado no Gráfico 18. A China, por suas perspectivas de desenvolvimento e de demanda por energia, assume papel decisivo no mercado global de energia nas próximas décadas.

**Gráfico 18: Demanda por energia primária (Mt) Não-OCDE no Cenário Novas Políticas segundo região entre 1990 e 2035**



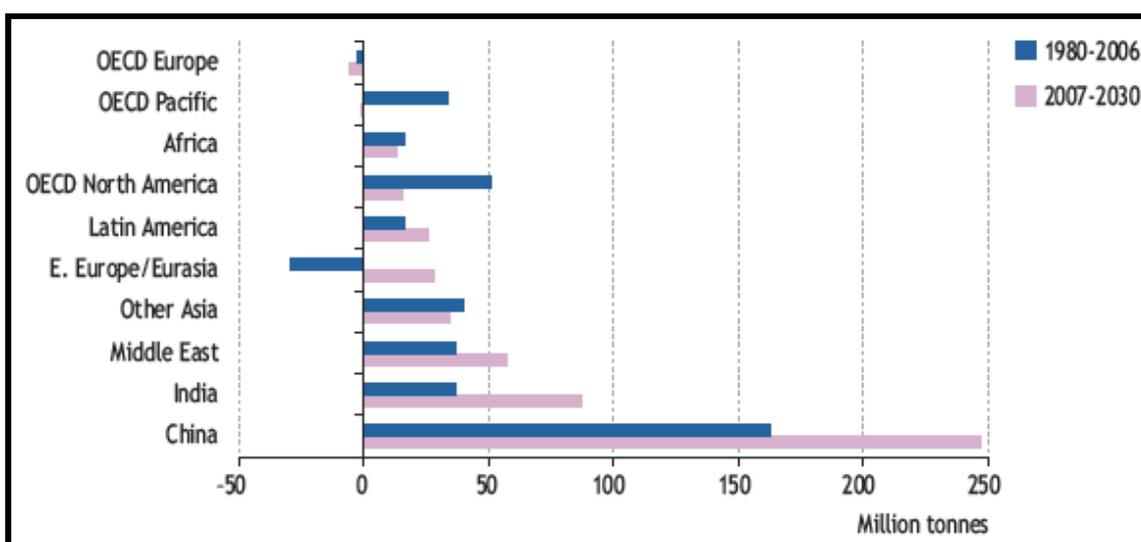
Fonte: IEA (2008)

No entanto, conforme destacado pelo Gráfico 19, os padrões históricos das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia, os 13 países maiores emissores da OCDE aumentaram suas emissões em mais de 20% entre 1990 e 2006, enquanto a República Checa, Alemanha, Hungria, Polônia, Eslováquia, Suécia e Reino Unido reduziram suas emissões em relação ao mesmo período. As emissões da OCDE em geral, aumentaram 16% entre 1990 e 2006, enquanto os de países não membros da OCDE aumentaram suas emissões em até 52%, como resultado de um crescimento econômico mais vigoroso e rápido, fazendo com que as emissões provenientes de países não-OCDE como um todo, ultrapassassem os do referido bloco em 2005.

<sup>31</sup> Padronizando a unidade para gigagramas de CO<sub>2</sub>: 1 GtCO<sub>2</sub> = 1 PgCO<sub>2</sub> = 10<sup>3</sup> TgCO<sub>2</sub> = 10<sup>6</sup> GgCO<sub>2</sub>.

As emissões em alguns países, principalmente na ex-União Soviética, declinaram durante o mesmo período, devido a suas economias terem passado por um processo de reestruturação econômica. Por outro lado, a China ultrapassou os Estados Unidos em 2007, figurando desde então como maior emissor mundial de CO<sub>2</sub> – emissões relacionadas com energia. Uma das razões para esta alta nas emissões chinesas é o CO<sub>2</sub> "incorporado" em suas exportações, que supera de longe o CO<sub>2</sub> incorporado em suas importações. A IEA considera que para os países não-OCDE, em geral, o aumento da urbanização será um dos principais motivos da elevação das emissões de CO<sub>2</sub>.

**Gráfico 19: Incremento médio anual das emissões de TgCO<sub>2</sub> (Mt)<sup>32</sup> relacionadas com energia no Cenário Políticas Atuais segundo região (1980 – 2030)**



Fonte: IEA (2008)

Os dados históricos e de projeções disponibilizadas pela IEA também se referem às regiões do mundo e aos principais países na configuração do consumo de energia mundial. Nota-se pelos relatórios que há a preocupação de se destacar os países emergentes, notadamente China, Índia e Brasil, procurando contrapor a evolução das emissões destes com os países membros da OCDE.

Diante de todo este contexto e ao serem divulgados pela IEA alguns dados específicos para o Brasil, como no caso de emissões de CO<sub>2</sub>, foi possível fazer uma comparação destes resultados junto aos do JCM. Os anos possíveis de comparação direta entre as projeções das duas bases de dados foram os de 2020, 2025 e 2030 para o Cenário Políticas Atuais, e os de 2020 e 2030, para os cenários de políticas da IEA. Os dados das emissões disponibilizados pela IEA em gigatoneladas (Gt) de CO<sub>2</sub>

<sup>32</sup> Padronizando a unidade para gigagramas de CO<sub>2</sub>: 1 MtCO<sub>2</sub> = 1 TgCO<sub>2</sub> = 10<sup>3</sup> GgCO<sub>2</sub>.

foram convertidos para GgCO<sub>2</sub>, de forma a padronizar a comparação com o os dados do JCM.

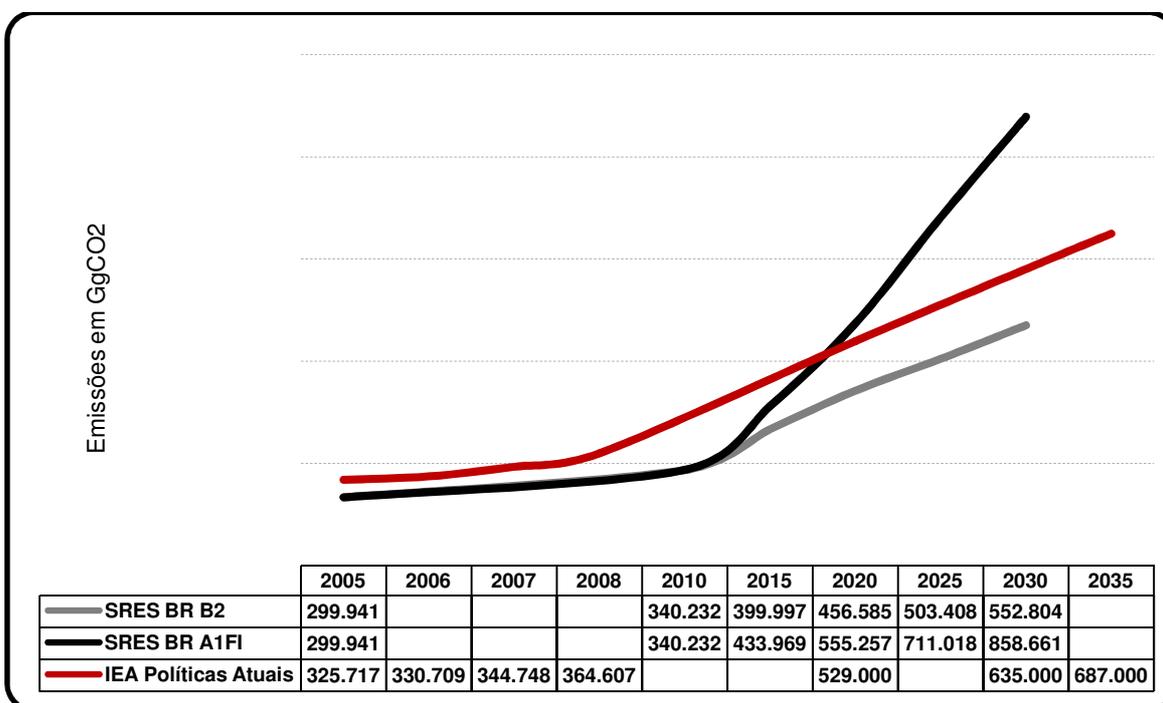
Apresentam-se pelo gráfico 20 os resultados das projeções SRES BR (B2 e A1FI) e os discriminados pelo Cenário Políticas Atuais da IEA para o total dos combustíveis fósseis consumidos no Brasil, referindo-se estes ao total de derivados de petróleo, gás natural e carvão. Os valores das emissões em GgCO<sub>2</sub> encontram-se anexados ao próprio gráfico.

Analisando-se os resultados das emissões e o comportamento das respectivas curvas que figuram os dois cenários SRES BR e o Cenário Políticas Atuais do IEA, pode-se notar que nos anos de comparação direta (2005 a 2008, 2020, 2030 e 2035), os resultados de projeção acabam por assumir um posição intermediária e mais próxima da curva SRES BR B2, registrando em 2030 a soma de 635.000 GtCO<sub>2</sub>. O desvio entre a curva de políticas atuais do EIA e as curvas SRES BR B2 e A1FI em 2030, é de respectivamente 15% e -26%.

Além da proximidade dos valores de emissões destas três curvas no ano de 2005, observa-se igualmente a proximidade do resultado do Cenário de Políticas Atuais da IEA no ano de 2020 (cerca de 529.000 GgCO<sub>2</sub>) com os resultados aferidos pelo SRES BR no ano de 2020 (456.585 GgCO<sub>2</sub> para o B2 e 555.257 GgCO<sub>2</sub> para o A1FI), levando a deduzir que, possivelmente, o comportamento das três curvas (SRES BR B2, A1FI e IEA Políticas Atuais) seriam linearmente semelhantes ao longo de todo o período pretérito.

Embora o IEA considere um aumento do consumo mundial de combustíveis fósseis neste período, esta maior proximidade dos resultados com a curva SRES BR B2 para o caso brasileiro ao longo do período, pode presumir a própria afirmação desta agência de que as modernas tecnologias de energia renováveis registrarão progressos significativos, viabilizando uma progressiva participação destas fontes nas matrizes energéticas nacionais, incluindo-se o Brasil. E como já comentado, os parâmetros que delineiam os cenários da família B2 consideram uma mudança de comportamento dos países com relação às questões ambientais e inserção de tecnologias sustentáveis.

**Gráfico 20: Emissões de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do JCM BR (B2 e A1FI) e da IEA (Cenário Políticas Atuais) entre 2005 e 2035**



Fonte: JCM (2011) e IEA (2008, 2010, e 2012), com adaptação de PETROBRAS (2011).

#### 4.6. Projeções do Plano Nacional de Energia - 2030 (PNE-2030)

O Plano Nacional de Energia, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008), apresenta as projeções de demanda de energia no Brasil, para 2030, adotadas a partir das premissas descritas nos Cenários Econômicos Nacionais, os quais apresentam uma formulação da economia brasileira, com a respectiva quantificação macroeconômica. Para as referidas projeções o PNE-2030 também faz uso de Cenários Demográficos e de Domicílios, os quais têm como objetivo apresentar a descrição, análise e quantificação do cenário de desenvolvimento da população brasileira e dos domicílios nas áreas urbana e rural no período 2005/2030.

Para a estimativa de evolução da demanda de energia o PNE-2030 utilizou como ferramenta de simulação o Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE), desenvolvido no Programa de Planejamento Energético da Coppe/UFRJ<sup>33</sup>, em 1997. No caso do setor residencial, a quantificação seguiu o modelo adotado em Achão (2003) e Schaeffer et al. (2004).

O MIPE é um modelo técnico-econômico de projeção de demanda e de oferta de energia e de emissões de CO<sub>2</sub> advindos do uso de energia. O modelo permite avaliar a implicação de cenários prospectivos de padrões de uso da energia e estilos de desenvolvimento nas trajetórias de demanda e de oferta de energia projetadas para o Brasil no horizonte de análise. Utiliza um conjunto de variáveis de entrada por segmento da demanda final de consumo de energia, exatamente no mesmo grau de desagregação utilizado no Balanço Energético Nacional, ou seja, setores industrial (desagregados ainda em onze diferentes segmentos), comercial, residencial, público e de transportes. Esse conjunto de variáveis, por sua vez, pode ser relacionado com premissas adotadas de acordo com cada cenário.

Dividido em Módulos, o MIPE está assim caracterizado:

- Módulo 1 (macroeconômico): no qual se definem as variáveis de cenário e a evolução setorial do PIB. Os resultados obtidos neste módulo incluem: (i) PIB anual; (ii) valor adicionado da indústria, agropecuária e de serviços; (iii) evolução da população urbana e rural; (iv) PIB per capita; (v) número de domicílios por ano.
- Módulo 2 (de demanda de energia): no qual se definem as variáveis de análise de cada segmento de cada setor, para obtenção das respectivas

---

<sup>33</sup> Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ).

demandas de energia útil e final. Os resultados de demanda por energia final por segmento são consolidados respectivamente em um dos seguintes setores: indústria, comércio e setor público, transportes, residencial, e agropecuário.

O PNE-2030 considera quatro cenários nacionais, assim designados: “na crista da onda”, “surfando a marola”, “pedalinho” e “náufrago”. O PNE-2030 avalia a evolução projetada da demanda nacional por combustíveis da forma descrita abaixo (EPE, 2008):

⇒ **Derivados de Petróleo**

No caso dos derivados de petróleo, o consumo, em 1970, foi de 23.510 mil tep, representado, nesse ano, 38% do consumo final brasileiro. Entre 1970 e 2004 a taxa de crescimento do consumo desses combustíveis não foi uniforme, sendo tal fato creditado às repercussões das crises de preços do petróleo no mercado internacional nos anos de 1973 e de 1979. Ao longo desse período, o consumo dos derivados de petróleo aumentou aproximadamente 252%, chegando a responder por 43% do consumo final energético nacional em 2004. A trajetória de evolução da demanda de derivados de petróleo segue a demanda do setor de transportes e do setor agropecuário.

Assume-se que a tecnologia *flex fuel* consolida sua posição no mercado interno brasileiro, sendo o abastecimento por álcool ou gasolina, a variável de escolha do usuário do automóvel. Neste caso, a venda de carros exclusivamente à gasolina mantém-se restrita a um nicho específico de mercado, mas em termos líquidos, a frota total baseada exclusivamente no consumo desse combustível apresenta redução progressiva. No mesmo sentido, a frota de veículos movida exclusivamente à álcool também se reduz como resultado do sucateamento progressivo das unidades existentes, uma vez que se assume não haver mais venda desse tipo de veículo no Brasil no horizonte do PNE-2030. Em termos de frota, torna-se relevante adicionar que a penetração de veículos elétricos ocorre de forma restrita a uma fração da quantidade de veículos importados à gasolina, o que implicitamente considera a restrição de importação a determinadas classes de renda.

Em termos do perfil de transporte de carga no país, é assumido um ligeiro crescimento da participação do modal ferroviário e redução de participação do modal rodoviário. Observam-se também maiores ganhos de rendimento no consumo de combustível por veículos (em quilometragem média por litro). Quanto à penetração do

gás natural veicular (GNV), esse tende a se concentrar no transporte coletivo, em frotas de ônibus urbanos.

Com relação à demanda de óleo diesel, os dados referem-se à demanda potencial desse energético, ou seja, à quantidade de combustível líquido com as propriedades físico-químicas do óleo diesel, o que significa que essa demanda pode ser atendida por meio de uma combinação de óleo diesel produzido no refino de petróleo, de biodiesel e de H-Bio, que consiste em um novo processo de produção de óleo diesel a partir do processamento de óleo vegetal em refinarias.

Com relação ao GLP, a tendência é de queda de participação relativa no total de energia demandada, em função da penetração do gás natural em todos os setores do consumo final e de maior incidência de práticas de conservação de energia. Por outro lado, a redução do consumo de lenha justifica o aumento da participação do GLP na indústria, principalmente naqueles segmentos onde não há disponibilidade de gás natural nas proximidades, mas cuja utilização de combustíveis gasosos representa melhoria de qualidade do produto.

Destaca-se o crescimento do consumo de óleo diesel, apesar do aumento da participação do modal ferroviário e do aumento do rendimento do combustível e a redução do consumo de óleo combustível em função do aumento de participação do gás natural.

No grupamento, outros energéticos de petróleo estão incluídos, como o coque e o gás de refinaria. O consumo das denominadas “outras fontes secundárias de petróleo” é observado principalmente nos segmentos das indústrias química, de cimento e metalúrgica (ferro-gusa, ferro-liga e não-ferrosos). Deverá ocorrer uma alteração de estrutura de consumo até 2030, em relação àquela observada no ano base (2004): os grandes consumidores industriais de energia, que até então respondiam por cerca de 62% do consumo total dessas fontes secundárias de petróleo, reduzirão sua participação nesse consumo, justificado pela expansão da indústria de cimento – ligada à expansão da infraestrutura do país - e do segmento “outras indústrias”, uma vez que ambas crescem aceleradamente em comparação aos demais segmentos industriais, na medida em que o crescimento do PIB é maior.

#### ⇒ **Gás natural**

Com relação ao consumo de gás natural, pode-se afirmar que esse era muito reduzido ao longo da década de 1970. O gás natural brasileiro ocorre principalmente associado ao petróleo. A pequena produção nacional desse energético contribuía para a baixa disponibilidade de gás e também não havia importação do mesmo.

Além disso, em função de não existir uma demanda própria que viabilizasse a comercialização, parte do gás existente era reinjetado nos poços ou queimado nas plataformas. Aumentos significativos do consumo ocorreram apenas a partir do início da década de 1980, em função da descoberta e início de operação de algumas jazidas localizadas na Bacia de Campos, e no final dos anos 1990, com o início da primeira etapa da operação do gasoduto Bolívia-Brasil.

Assume-se que haverá um aumento significativo da participação do gás natural na demanda de energia no país, deslocando o consumo do óleo combustível e da lenha. É o setor industrial que capitaneia a expansão do consumo desse energético no longo prazo, embora se observem também ganhos de participação nos setores comercial/público e residencial. Do consumo final de gás natural, o consumo energético representava em 2004 mais de 70%, sendo que as projeções até 2030 resultam na participação da demanda de gás natural para consumo energético da ordem de 97%, em média.

⇒ **Carvão vapor**

Embora o consumo final de carvão vapor seja exclusivamente energético, no setor de transportes e industrial, mais de 80% do consumo total se deve ao setor de transformação para geração de energia elétrica. O crescimento proposto no consumo final de carvão vapor se deve ao seu consumo industrial, especialmente nos setores de cimento, químico, papel e celulose, cerâmica e de metais não ferrosos.

⇒ **Alcatrão**

A maior parcela do consumo de alcatrão de carvão mineral se destinou ao consumo final não energético, uma vez que do alcatrão são separadas, por destilação fracionada, dezenas de substâncias, muitas delas já importantes em si, como o benzeno, tolueno, naftaleno, etc. Mas essas substâncias podem ser utilizadas para sintetizar outras. Por exemplo, o tolueno pode ser nitrado, usando ácido nítrico e tolueno como reagente, e ácido sulfúrico como catalisador, sintetizando o Trinitro-Tolueno. O crescimento do consumo final energético de alcatrão, por sua vez, está associado ao crescimento da indústria de ferro-gusa e deverá aumentar a uma taxa média de 2% ao ano entre 2005 e 2030. A participação do consumo final energético não deverá representar mais do que 20% do consumo final total em 2030.

⇒ **Coque de carvão mineral**

O coque de carvão mineral é empregado na indústria siderúrgica, sendo utilizado na redução do minério de ferro. A expectativa é de aumento do consumo nesse setor industrial até 2030.

⇒ **Consumo final não-energético**

A participação da demanda de derivados não energéticos de petróleo, o gás natural, etanol, alcatrão de carvão mineral e a nafta, tem sido pouco significativa, se comparada com o total, e não existem perspectivas de que isso se altere até 2030. No caso do gás natural, registrou-se 6% da demanda final para fins não energéticos em 2005, basicamente para produção de eteno e solventes, sendo que a participação deverá diminuir para 3% em 2030, apesar do crescimento médio de 3% ao ano da demanda de gás natural para não energéticos entre 2005 e 2030.

O consumo de alcatrão de carvão no setor não energético tem sido historicamente superior ao consumo final energético, com exceção da década de 1990, quando a situação se inverteu. Estima-se que o crescimento de seu consumo não energético seja superior ao consumo energético até 2030, em função, principalmente, do crescimento da indústria química, na qual o alcatrão de carvão encontra aplicação.

A Nafta é o derivado de petróleo cujo consumo final decorre exclusivamente de uso não energético como matéria-prima na indústria petroquímica. Observa-se que a demanda não deverá se alterar porque a capacidade instalada para o processamento de Nafta deverá se estagnar no horizonte do estudo, ou seja, em 2030. A produção de petroquímicos básicos deverá ocorrer a partir de petróleo pesado ou gás natural.

#### **4.6.1. Comparação das projeções de emissões de CO<sub>2</sub> pelo SRES BR com os dados de referência do Plano Nacional de Energia**

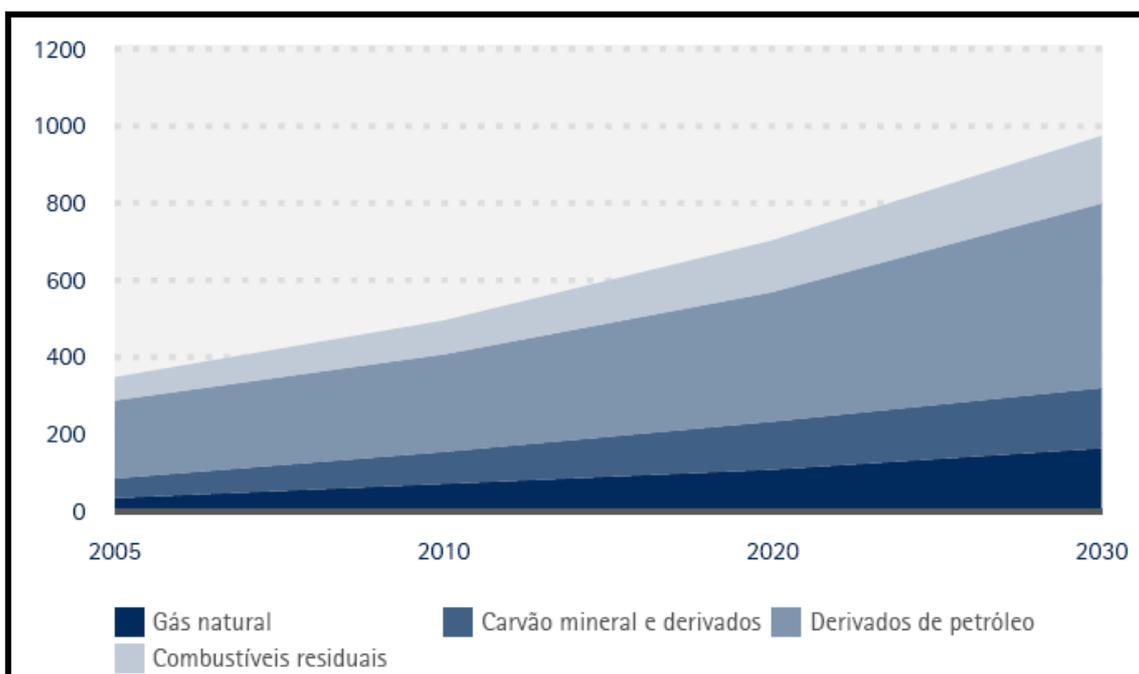
O Plano Nacional de Energia (PNE) apresenta alguns resultados e perspectivas sobre as emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de energéticos - gás natural, carvão mineral, derivados de petróleo e outros combustíveis residuais, tal como apresentado pelo Gráfico 20 – representação das projeções do PNE.

O Plano Nacional de Energia (PNE) é o primeiro estudo publicado – e ainda único oficial do governo brasileiro - de planejamento integrado dos recursos energéticos realizado no país, sendo conduzido pela EPE em estreita vinculação com

o Ministério de Minas e Energia (MME), visando fornecer subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável procurando o atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo.

Contudo, a análise deste relatório é bem abrangente e pouco clara quando se trata de emissões de gases estufa, não sendo inclusive destacados os valores absolutos previstos das emissões por fontes para os anos subsequentes a 2005 – apenas o valor da projeção total, tendo-se, portanto, que deduzir os resultados das projeções de 2030 para cada fonte de energia citada por meio de algumas análises descritas no documento.

**Gráfico 20: Evolução das Emissões de TgCO<sub>2</sub> no Brasil segundo algumas fontes de energia entre 2005 e 2030**



Fonte: (EPE, 2007)

Notas: <sup>1</sup> Carvão mineral e derivados incluem gás de coqueria e coque de carvão mineral. <sup>2</sup> Os derivados de petróleo incluem: gasolina, óleo diesel, óleo combustível, GLP e querosene. <sup>3</sup> Combustíveis residuais incluem: outras fontes primárias e outras secundárias/alcatrão.

Como abordado no documento do PNE (EPE, 2007), no horizonte de longo prazo, aspectos como o nível de crescimento da economia e a estrutura de expansão do consumo de energia exerceriam papel fundamental na evolução futura das emissões de CO<sub>2</sub>. Desta forma, a EPE prevê forte crescimento na evolução do consumo total de energia primária no Brasil, sendo que os anos entre 2010 a 2030 serão influenciados por condicionantes inerentes ao cenário econômico que

determinam a evolução da demanda de energia. Não obstante essa forte expansão, considera-se a expectativa de que a taxa de crescimento da demanda de energia seja progressivamente menor.

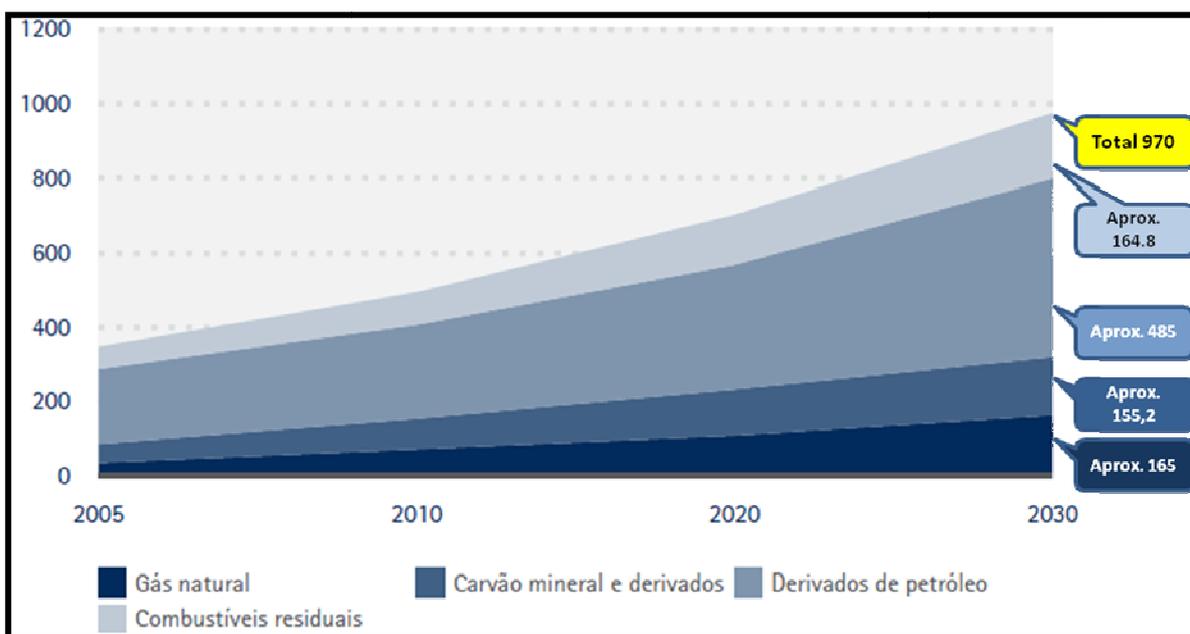
Por outro lado, mesmo considerando aumento da participação de fontes renováveis na matriz nacional, segundo a EPE (2007), o nível de emissões deverá se ampliar ao longo do horizonte do estudo, sendo projetadas emissões totais de pouco mais de 970 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2030.

Como pode ser observado pelo Gráfico 21 a EPE (2007) considera que serão os derivados de petróleo (óleo diesel de petróleo, gasolina, GLP e querosene) os maiores contribuintes para as emissões totais até 2030, estimando a contribuição destas fontes em cerca de 50% do total. Apesar de o gás natural apresentar fatores de emissão menores do que os demais combustíveis fósseis há a expectativa de expansão de sua contribuição nas próximas décadas, chegando a representar aproximadamente 17% do total das emissões de origem fóssil em 2030, resultante da maior penetração na indústria, bem como de sua utilização para geração elétrica.

Outro ponto destacado no PNE é que a expansão da atividade siderúrgica no país e de plantas termelétricas a carvão, conduziram a um aumento do consumo do carvão mineral e seus derivados no período, fazendo com que esse energético passe a responder por cerca de 16% das emissões totais de CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis em 2030. Após análise e cálculos baseados nos percentuais por fontes, relatados no PNE para 2030, chegou-se a valores estimados por aproximação das emissões absolutas de CO<sub>2</sub> para cada fonte abordada no documento em questão, resultados estes discriminados a seguir para o ano de 2030 e apresentados no Gráfico 21 – representação modificada da versão divulgada pelo PNE (EPE, 2007):

- Gás natural: 165 TgCO<sub>2</sub>.
- Carvão mineral e derivados: 155,2 TgCO<sub>2</sub>.
- Derivados de petróleo: 485 TgCO<sub>2</sub>.
- Combustíveis secundários: 164,8 TgCO<sub>2</sub>.
- TOTAL das emissões destes combustíveis: 970 TgCO<sub>2</sub>.

**Gráfico 21: Estimativa das Emissões de TgCO<sub>2</sub> no Brasil segundo algumas fontes de energia para o ano de 2030**



Fonte: Baseado em análises do Plano Nacional de Energia – PNE (EPE, 2007).

Contudo, os dados supracitados, resultantes de extrapolações baseadas em um único valor absoluto de emissões de CO<sub>2</sub> (valor total) e de cálculos aproximados considerando-se estimativas percentuais apenas para o final do período analisado (ano de 2030), se apresentaram insuficientes para a realização de uma análise pormenorizada e comparativa com as emissões estimadas pelo SRES BR.

Assim, procurou-se no próximo tópico realizar exercícios de cálculo das emissões de dióxido de carbono que retratassem de maneira mais precisa o conjunto de fontes energéticas demandadas pelo Brasil entre os anos 2005 e 2030, considerando-se as estimativas do cenário de referência abordado por documentos vinculados ao PNE, tratando-se este conjunto de uma “republicação” detalhada do Plano (EPE, 2008).

#### **4.6.2. Projeção das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> conforme dados do Cenário de Referência do Plano Nacional de Energia**

De forma a prestigiar o único banco de dados oficial sobre as projeções de demanda e oferta de energia do Brasil, procurou-se avançar na análise dos resultados de outro documento vinculado ao Plano Nacional de Energia: o “Caderno Temático sobre Projeções”, divulgado no ano de 2008. Este documento deriva de um conjunto de cinco notas técnicas, resultado de trabalhos contratados pelo Ministério de Minas Energia (MME) e elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Dentre estas cinco notas técnicas que subsidiaram este documento sobre projeções, para efeito deste trabalho destaca-se a nota “A demanda de energia primária – evolução a longo prazo” (EPE, 2008b), que descreve as perspectivas para a evolução a longo prazo da demanda de energia primária, que inclui, além da demanda final de energia, a demanda nos centros de transformação. Esse estudo considera as estimativas da demanda final de energia nos setores industrial, residencial, transportes, comercial/público e agropecuário. Estas estimativas servem, por sua vez, como informação utilizada para a projeção da oferta interna de energia necessária ao atendimento desta demanda final, sendo estes resultados apresentados nesta nota técnica.

A partir dos resultados projetados de demanda de energia por fontes apresentados pelo Caderno Temático PNE sobre Projeções (EPE, 2008b), segundo o Cenário de Referência, foram realizados uma série de cálculos procurando-se estimar as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) segundo a metodologia de inventários de emissões nacionais do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Guia IPCC-2006), como forma de se estimar o comportamento dos resultados aferidos pelo SRES BR em comparação com uma metodologia cancelada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC).

Os dados de demanda de energia apresentados pelo Caderno Temático PNE sobre Projeções (EPE, 2008b) – Cenário de Referência, são apresentados pela tabela 28 e consideram estimativas para o período de 2000 a 2030, de cinco em cinco anos, tal como pelo JCM. A seleção das fontes destacadas nesta tabela e cujos resultados serviram de base para os cálculos, procurou atender as mesmas fontes de combustíveis fósseis consideradas nas estimativas do SRES BR: gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, nafta, querosene, óleo diesel, óleo combustível,

carvão vapor (carvão energético), carvão metalúrgico<sup>34</sup>, alcatrão de carvão mineral e coque de carvão mineral.

**Tabela 28: Estimativa da demanda brasileira por energéticos selecionados segundo o Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030**

Energético	Unidade		2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural	(mil m <sup>3</sup> )	T <sup>1</sup>	2.126	5.934	12.032	18.707	15.947	17.989	24.177
	(mil m <sup>3</sup> )	CF	7.965	15.044	25.912	35.184	43.492	56.471	63.342
GLP	(mil m <sup>3</sup> )	T	12.825	11.655	14.229	17.429	20.645	23.440	26.547
Gasolina	(mil m <sup>3</sup> )	CF	17.225	17.712	20.445	25.479	26.246	33.861	42.657
Nafta	(mil m <sup>3</sup> )	T	3.809	3.838	3.838	3.838	3.838	3.838	3.838
	(mil m <sup>3</sup> )	CF	10.586	9.513	9.513	9.513	9.513	9.513	9.513
Querosene	(mil m <sup>3</sup> )	CF	3.946	3.165	3.838	4.857	6.139	7.762	9.816
Óleo Diesel	(mil m <sup>3</sup> )	T	1.768	2.235	1.782	1.183	2.975	3.726	3.726
	(mil m <sup>3</sup> )	CF	34.674	38.186	48.879	52.692	58.712	67.513	79.074
Óleo combustível	(mil m <sup>3</sup> )	T	2.162	726	431	161	161	161	161
	(mil m <sup>3</sup> )	CF	9.906	6.855	6.155	6.943	7.495	7.912	8.692
Carvão vapor	(mil t)	T	6.177	5.109	6.573	11.280	11.923	16.769	26.468
	(mil t)	CF	790	724	1.499	2.037	2.338	2.803	3.290
Carvão metalúrgico	(mil t)	CF	3.365	4.295	6.031	8.833	9.213	10.611	11.799
Alcatrão	(mil t)	T	27	15	16	20	21	21	23
	(mil t)	CF	256	231	251	310	319	327	353
Coque de carvão mineral	(mil t)	CF <sup>2</sup>	9.433	9.304	14.889	22.283	24.030	26.037	26.826

Fonte: (EPE, 2008b). Legenda: T – Transformação ; CF - Consumo Final.

Nota: <sup>1</sup> A energia extraída da natureza não se encontra na forma mais adequada para os usos finais, necessitando, na maioria dos casos, passar por processos em centros de transformação, tais como refinarias, usinas hidrelétricas, carvoarias etc. O uso do gás natural no setor de transformação pode ser dividido no processamento nas Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGNs), onde são separados os líquidos do gás natural e de onde é obtido o gás natural seco, e na Geração de Energia Elétrica (centrais geradoras de eletricidade de serviço público e autoprodutoras). Existem, adicionalmente, algumas transformações ao longo do transporte de gás natural até as UPGNs, que consistem na condensação dos líquidos de gás natural ao longo dos dutos. <sup>2</sup> O coque de carvão mineral é empregado na indústria siderúrgica, sendo utilizado na redução do minério de ferro.

Inicialmente seguiu-se a mesma metodologia e parâmetros utilizados sobre as estimativas de emissões pelo SRES BR, realizando os cálculos de conversão e padronização das respectivas quantidades e volumes de combustíveis para mil toneladas equivalentes de petróleo médio (10<sup>3</sup> tep médio).

<sup>34</sup> A participação do carvão mineral nos centros de transformação é relacionada à produção nacional de coque de carvão mineral para fins metalúrgicos, resultando ainda na produção de gás de coqueria. Uma parcela remanescente de carvão metalúrgico é utilizada diretamente como combustível por diversos setores industriais, notadamente o siderúrgico (ferro-gusa e aço) e mineração.

Para isso, foram utilizados os mesmos fatores de conversão adotados pelo Balanço Energético Nacional, ano base 2011 (EPE, 2012) para cada tipo de combustível, tal como apresentado na tabela 29. Nesta mesma tabela apresentam-se os resultados das respectivas conversões, ou seja, os valores do consumo de cada combustível em 10<sup>3</sup> tep médio.

Estes resultados foram obtidos a partir da simples multiplicação dos valores de cada combustível em suas unidades originais pelos respectivos fatores de conversão em tep médio (tabela 29). No caso do gás natural, além desta multiplicação, o resultado foi dividido por mil, dado que o fator de conversão deste combustível já considerava uma unidade de referência de 1.000 m<sup>3</sup>.

**Tabela 29: Estimativa da demanda brasileira total de energéticos em 10<sup>3</sup> tep médio segundo o Cenário de Referência do PNE (2000 - 2030)**

Energéticos		Fconv em TEP médio	Demanda Total Anual por Energético (em 1000 tep médio)						
			2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural	T	0,880	2	5	11	16	14	16	21
	CF	0,880	7	13	23	31	38	50	56
GLP	CF	0,611	7.836	7.121	8.694	10.649	12.614	14.322	16.220
Gasolina	CF	0,770	13.263	13.638	15.743	19.619	20.209	26.073	32.846
Nafta	T	0,765	2.914	2.936	2.936	2.936	2.936	2.936	2.936
	CF	0,765	8.098	7.277	7.277	7.277	7.277	7.277	7.277
Querosene	CF	0,822	3.244	2.602	3.155	3.992	5.046	6.380	8.069
Óleo Diesel	T	0,848	1.499	1.895	1.511	1.003	2.523	3.160	3.160
	CF	0,848	29.404	32.382	41.449	44.683	49.788	57.251	67.055
Óleo combustível	T	0,959	2.073	696	413	154	154	154	154
	CF	0,959	9.500	6.574	5.903	6.658	7.188	7.588	8.336
Carvão vapor <sup>1</sup>	T	0,445	2.749	2.274	2.925	5.020	5.306	7.462	11.778
	CF	0,445	352	322	667	906	1.040	1.247	1.464
Carvão metalúrgico	CF	0,642	2.160	2.757	3.872	5.671	5.915	6.812	7.575
Alcatrão	T	0,855	23	13	14	17	18	18	20
	CF	0,855	219	198	215	265	273	280	302
Coque de carvão mineral	CF	0,690	6.509	6.420	10.273	15.375	16.581	17.966	18.510

Fonte: EPE (2008b).

Nota: Considerando o fator de conversão referente ao Carvão Vapor = 4.700 Kcal/Kg.

Legenda: T – Transformação ; CF - Consumo Final

Na realização dos cálculos, aplicou-se a metodologia de inventários de emissões nacionais do Guia IPCC-2006, a partir dos mesmos dados de demanda de energia apresentados pela Tabela 28: segundo o Cenário de Referência Caderno Temático PNE sobre Projeções (EPE, 2008). Contudo, para se chegar às quantidades de carbono consoante o consumo de cada combustível, teve-se que percorrer uma seqüência de cálculos.

Partindo-se das estimativas da evolução da demanda total de energéticos em  $10^3$  tep médio no Brasil segundo o Cenário de Referência, conforme resultados calculados e apresentados na tabela 29 calculou-se os respectivos valores convertidos em terajoule (TJ) por energético. Estes cálculos foram efetuados por meio da multiplicação dos resultados em  $10^3$  tep pelo fator de conversão de 41,686 TJ/ $10^3$  tep, e encontram-se apresentados pela tabela 30.

**Tabela 30: Estimativa da evolução da demanda total de energéticos em 10<sup>3</sup> TEP médio no Brasil segundo o Cenário de Referência do PNE (Cenário de Referência do PNE) entre 2000 e 2030**

Energéticos		Fconv (TJ/ 10 <sup>3</sup> tep)	Demanda Total Anual por Energético ( em TJ)						
			2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural	T	41,868	78	219	443	689	588	663	891
	CF	41,868	293	554	955	1.296	1.602	2.081	2.334
GLP	CF	41,868	328.081	298.151	363.997	445.857	528.127	599.627	679.108
Gasolina	CF	41,868	555.306	571.006	659.113	821.401	846.128	1.091.623	1.375.192
Nafta	T	41,868	121.999	122.927	122.927	122.927	122.927	122.927	122.927
	CF	41,868	339.059	304.692	304.692	304.692	304.692	304.692	304.692
Querosene	CF	41,868	135.804	108.925	132.087	167.156	211.277	267.133	337.823
Óleo Diesel	T	41,868	62.771	79.352	63.268	42.001	105.625	132.288	132.288
	CF	41,868	1.231.068	1.355.758	1.735.403	1.870.780	2.084.515	2.396.986	2.807.448
Óleo combustível	T	41,868	86.807	29.150	17.305	6.464	6.464	6.464	6.464
	CF	41,868	397.740	275.238	247.132	278.771	300.935	317.678	348.996
Carvão vapor	T	41,868	115.085	95.187	122.463	210.161	222.141	312.428	493.132
	CF	41,868	14.719	13.489	27.928	37.952	43.560	52.223	61.297
Carvão metalúrgico	CF	41,868	90.449	115.446	162.109	237.424	247.639	285.216	317.148
Alcatrão	T	41,868	967	537	573	716	752	752	823
	CF	41,868	9.164	8.269	8.985	11.097	11.419	11.706	12.636
Coque de carvão mineral	CF	41,868	272.509	268.783	430.127	643.732	694.201	752.181	774.974

Fonte: Plano Nacional de Energia - Caderno Temático sobre Projeções (EPE, 2008), com adaptação de PETROBRAS (2011).

Legenda: T – Transformação ; CF - Consumo Final

Na seqüência, calculou-se as quantidades de carbono por combustível segundo os respectivos fatores de conteúdo de uma tonelada de carbono por terajoule (tC/TJ) conforme valores *default* apresentados no GUIA IPCC 2006 – valores destacados em vermelho na tabela 31. Estes resultados se referem à multiplicação dos valores em TJ pelos respectivos fatores de conversão *default* do IPCC, bem como pela divisão destes últimos por 1.000, a fim de os resultados já permanecerem em gigagrama de carbono (GgC) - vide Equação 6 abaixo:

**Equação 6:** [Consumo combustível (TJ) \* Fator de Conversão\* (tC/TJ)] / 1.000 = GgC

**Tabela 31: Estimativa das emissões em GgC segundo a demanda brasileira total de energéticos pelo Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030**

Energéticos		Fconv para C (tC/TJ)*	Emissões Totais Anuais por Energético (em GgC)						
			2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural	T	15,30	1	3	7	11	9	10	14
	CF	15,30	4	8	15	20	25	32	36
GLP	CF	17,20	5.643	5.128	6.261	7.669	9.084	10.314	11.681
Gasolina	CF	18,90	10.495	10.792	12.457	15.524	15.992	20.632	25.991
Nafta	T	20,00	2.440	2.459	2.459	2.459	2.459	2.459	2.459
	CF	20,00	6.781	6.094	6.094	6.094	6.094	6.094	6.094
Querosene	CF	19,60	2.662	2.135	2.589	3.276	4.141	5.236	6.621
Óleo Diesel	T	20,20	1.268	1.603	1.278	848	2.134	2.672	2.672
	CF	20,20	24.868	27.386	35.055	37.790	42.107	48.419	56.710
Óleo combustível	T	21,10	1.832	615	365	136	136	136	136
	CF	21,10	8.392	5.808	5.214	5.882	6.350	6.703	7.364
Carvão vapor	T	26,80	3.084	2.551	3.282	5.632	5.953	8.373	13.216
	CF	26,80	394	362	748	1.017	1.167	1.400	1.643
Carvão metalúrgico	CF	25,80	2.334	2.979	4.182	6.126	6.389	7.359	8.182
Alcatrão	T	22,00	21	12	13	16	17	17	18
	CF	22,00	202	182	198	244	251	258	278
Coque de carvão mineral	CF	29,20	7.957	7.848	12.560	18.797	20.271	21.964	22.629

Fonte: Plano Nacional de Energia - Caderno Temático sobre Projeções (EPE, 2008) com adaptação de PETROBRAS (2011). (\*) Valores *default* do Guia IPCC 2006 por tipo de combustível.

Legenda: T – Transformação ; CF - Consumo Final

Contudo, antes de se converter as quantidades de carbono para dióxido de carbono, a metodologia do IPCC considera que deve ser extraída dos cálculos de emissões a parcela do carbono inoxidado. Isto porque nem todo conteúdo do carbono disponível para ser emitido será oxidado, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos.

Isto pode ser entendido dado que a diferença entre a parcela de carbono contida no consumo de um dado combustível e a parcela estocada em produtos não energéticos representa o carbono disponível para ser emitido na combustão. Desta

forma, o carbono contido em um combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido, como por exemplo, através da incorporação a produtos não energéticos ou da sua retenção parcialmente “não oxidada”, ou seja, sua parcela inoxidada.

Portanto, na metodologia do IPCC, esse fato é levado em conta no cálculo das emissões reais, multiplicando-se o carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidada na combustão. Esses valores que correspondem à fração de carbono oxidada na combustão são apresentados destacados de verde na Tabela 1, sendo multiplicados pelos resultados das emissões em GgC – vide Equação 7 a seguir. As respectivas estimativas das emissões em GgC oxidado encontram-se discriminados nesta mesma tabela.

**Equação 7:** Emissão de combustível (GgC) \* Fração de carbono oxidado = GgC oxidado

**Tabela 1: Estimativa das emissões de carbono oxidado (em GgC) segundo a demanda total brasileira de energéticos pelo Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030**

Energéticos		Fração de carbono oxidado <sup>1</sup>	Emissões totais de carbono oxidado por energético (em GgC)						
			2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural	T	0,995	1	3	7	10	9	10	14
	CF	0,995	4	8	15	20	24	32	36
GLP	CF	0,99	5.587	5.077	6.198	7.592	8.993	10.210	11.564
Gasolina	CF	0,99	10.390	10.684	12.333	15.369	15.832	20.425	25.731
Nafta	T	0,99	2.416	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434
	CF	0,99	6.713	6.033	6.033	6.033	6.033	6.033	6.033
Querosene	CF	0,99	2.635	2.114	2.563	3.243	4.100	5.183	6.555
Óleo Diesel	T	0,99	1.255	1.587	1.265	840	2.112	2.645	2.645
	CF	0,99	24.619	27.112	34.705	37.412	41.686	47.935	56.143
Óleo combustível	T	0,99	1.813	609	361	135	135	135	135
	CF	0,99	8.308	5.749	5.162	5.823	6.286	6.636	7.290
Carvão vapor	T	0,98	3.023	2.500	3.216	5.520	5.834	8.206	12.952
	CF	0,98	387	354	734	997	1.144	1.372	1.610
Carvão metalúrgico	CF	0,98	2.287	2.919	4.099	6.003	6.261	7.211	8.019
Alcatrão	T	0,98	21	12	12	15	16	16	18
	CF	0,98	198	178	194	239	246	252	272
Coque de carvão mineral	CF	0,98	7.798	7.691	12.309	18.421	19.865	21.524	22.177

Fonte: Plano Nacional de Energia - Caderno Temático sobre Projeções (EPE, 2008) com adaptação de PETROBRAS (2011). Legenda: T – Transformação ; CF - Consumo Final

Nota: <sup>1</sup> Valores recomendados pelo Guia IPCC 2006 por tipo de combustível.

Por fim, os valores das emissões de carbono oxidado (em GgC ) para cada tipo de combustível foram multiplicados pela razão entre os pesos moleculares do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e do carbono (C), de 44/12 ou 3,6667, aproximadamente – vide a fórmula a seguir e o valor destacado em azul na tabela 33. Os resultados, já contabilizados em quilotoneladas de dióxido de carbono (GgCO<sub>2</sub>) encontram-se igualmente apresentados nesta mesma tabela, sendo destacado em cinza na última linha da mesma os valores totais das emissões em cada ano de projeção.

$$\text{Emissão de combustível (GgC oxidado)} \times \text{Fator de conversão (CO}_2\text{/C)} = \text{Emissão de combustível (GgCO}_2\text{)}$$

**Tabela 33: Estimativa das emissões de GgCO<sub>2</sub> segundo a demanda brasileira total de energéticos pelo Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030**

Energéticos		Fconv CO <sub>2</sub> /C	Emissões Totais Anual de CO <sub>2</sub> por energético (em GgCO <sub>2</sub> )						
			2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural	T	3,667	4	12	25	38	33	37	50
	CF	3,667	16	31	53	72	89	116	130
GLP	CF	3,667	20.484	18.615	22.727	27.838	32.974	37.438	42.401
Gasolina	CF	3,667	38.098	39.175	45.220	56.354	58.050	74.893	94.348
Nafta	T	3,667	8.857	8.925	8.925	8.925	8.925	8.925	8.925
	CF	3,667	24.616	22.121	22.121	22.121	22.121	22.121	22.121
Querosene	CF	3,667	9.662	7.750	9.398	11.893	15.032	19.006	24.035
Óleo Diesel	T	3,667	4.603	5.819	4.639	3.080	7.745	9.700	9.700
	CF	3,667	90.269	99.412	127.250	137.177	152.849	175.761	205.859
Óleo combustível	T	3,667	6.649	2.233	1.325	495	495	495	495
	CF	3,667	30.464	21.081	18.959	21.352	23.050	24.332	26.731
Carvão vapor	T	3,667	11.083	9.167	11.793	20.239	21.392	30.087	47.489
	CF	3,667	1.417	1.299	2.690	3.655	4.195	5.029	5.903
Carvão metalúrgico	CF	3,667	8.385	10.703	15.029	22.011	22.958	26.442	29.402
Alcatrão	T	3,667	76	42	45	57	59	59	65
	CF	3,667	724	654	710	877	903	925	999
Coque de carvão mineral	CF	3,667	28.593	28.202	45.131	67.544	72.839	78.923	81.314
<b>Total das emissões por ano</b>			<b>284.002</b>	<b>275.240</b>	<b>336.009</b>	<b>403.726</b>	<b>443.709</b>	<b>514.290</b>	<b>599.967</b>

Fonte: Plano Nacional de Energia - Caderno Temático sobre Projeções (EPE, 2008) com adaptação de PETROBRAS (2011). Legenda: T – Transformação; CF - Consumo Final.

Nota: <sup>1</sup> Valores recomendados pelo Guia IPCC 2006 por tipo de combustível.

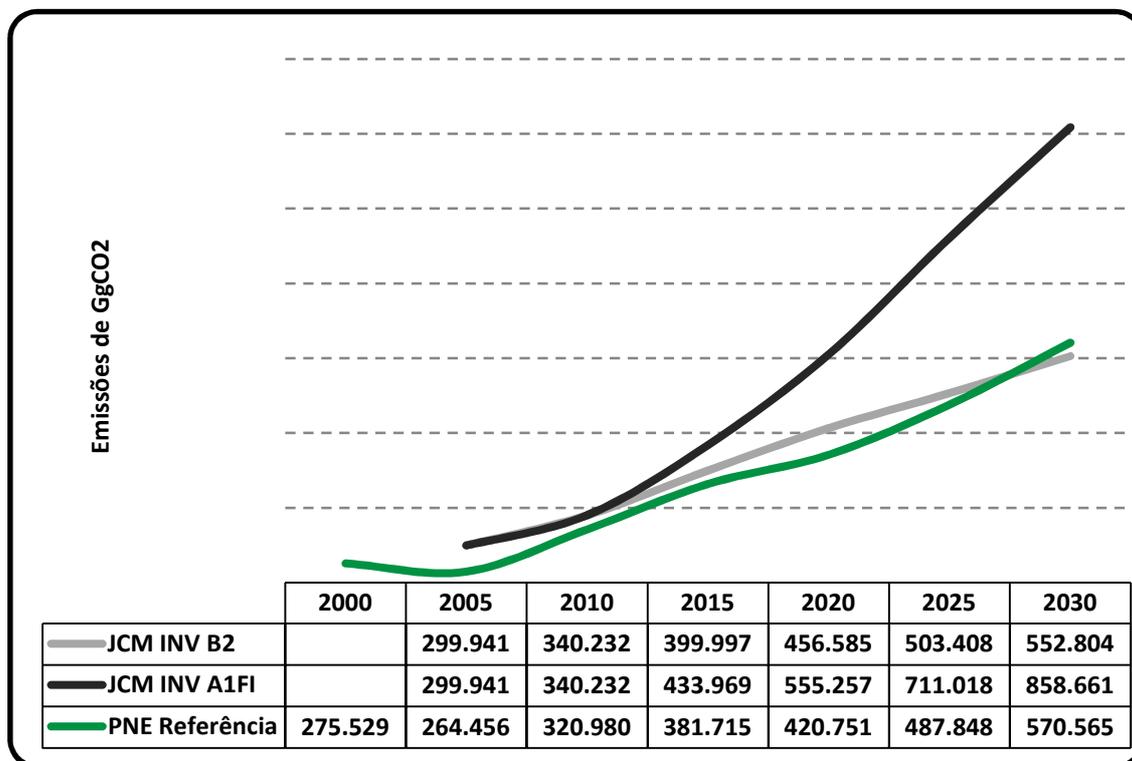
Estes resultados das projeções de emissões totais de CO<sub>2</sub>/ano (em GgCO<sub>2</sub>) foram comparados aos resultados aferidos pelo SRES BR consoante a compatibilização dos anos disponíveis – vide o Gráfico 22 a seguir. O cenário referente aos cálculos deste segundo exercício, que segue os parâmetros e metodologia utilizados pelo Guia IPCC 2006, foi denominado de “PNE Referência”.

Por este mesmo Gráfico 22, que também confronta os valores absolutos aproximados das emissões anuais de combustíveis para cada cenário, pode-se notar que a trajetória da curva ilustrativa do Cenário PNE Referência é bem similar a verificada no cenário SRES BR B2, estando, porém, mais deslocada devido aos valores de emissões menores até 2025, quando a diferença entre os resultados de emissões dos dois cenários cai para apenas 3%. Ao longo de todo o período as maiores diferenças entre estas duas curvas foram em 2011 (11,8%) e em 2020 (7,8%), estando a SRES BR B2 ainda superior à PNE Referência.

Por estes resultados e análise de todo contexto concernente às previsões de consumo para cada combustível segundo o PNE, pode-se afirmar que estas primeiras projeções realizadas pela EPE, em 2007/2008, assumiram uma direção conservadora, mesmo considerando-se que no ano de 2005 as emissões pelo PNE Referência foram relativamente próximas daquelas registradas pelo Segundo Inventário Brasileiro. Isto porque, o Inventário desconsiderou as emissões provenientes de coque de petróleo e outras referentes a processos siderúrgicos, fato este não verificado no PNE, que contabilizou todas estas emissões como do setor energia.

Por outro lado, destaca-se a significativa disparidade (41%) entre o total de emissões calculadas a partir do consumo de energéticos pelo Cenário de Referência PNE (EPE, 2008), que foi de 570.565 GgCO<sub>2</sub>, para as projeções inicialmente apresentadas na versão do plano do ano anterior (EPE, 2007), que afirma que o nível de emissões totais alcançaria pouco mais de 970.000 GgCO<sub>2</sub> em 2030. Esta diferença pode se dever à revisão dos resultados e previsões de consumo, bem como pela adoção de diferentes critérios e/ou consideração de novas variáveis pelos analistas da EPE. De todo modo, mesmo que as duas versões partam de um nível de emissões razoavelmente próximo em 2005, para o ano de 2030, enquanto a previsão inicial (EPE, 2007) tende a se aproximar do cenário SRES BR A1FI, que apresenta emissões totais de 858.661 GgCO<sub>2</sub> em 2030, os cálculos a partir das informações mais recentes do PNE (EPE, 2008) apontam para uma trajetória próxima a do cenário SRES BR B2, o que significaria uma mudança significativa de tendência.

**Gráfico 22: Comparação das emissões de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do SRES BR (B2 e A1FI) e do Cenário de Referência do PNE entre 2000 e 2030**



Fonte: EPE (2008) e JCM (2011) com adaptação de PETROBRAS (2011).

Consolidando toda a análise sobre emissões de GgCO<sub>2</sub> por combustíveis fósseis no Brasil conforme Cenários de Referência atribuídos por diferentes instituições nacionais e internacionais de renome, o Gráfico 23 apresenta os valores absolutos aproximados das emissões anuais de combustíveis para cada um dos sete cenários BAU analisados até o presente capítulo: **SRES BR B2, SRES BR A1FI, EIA Referência, EAI Alta Petróleo, EIA Baixa Petróleo, IEA Políticas Atuais, PNE Referência.**

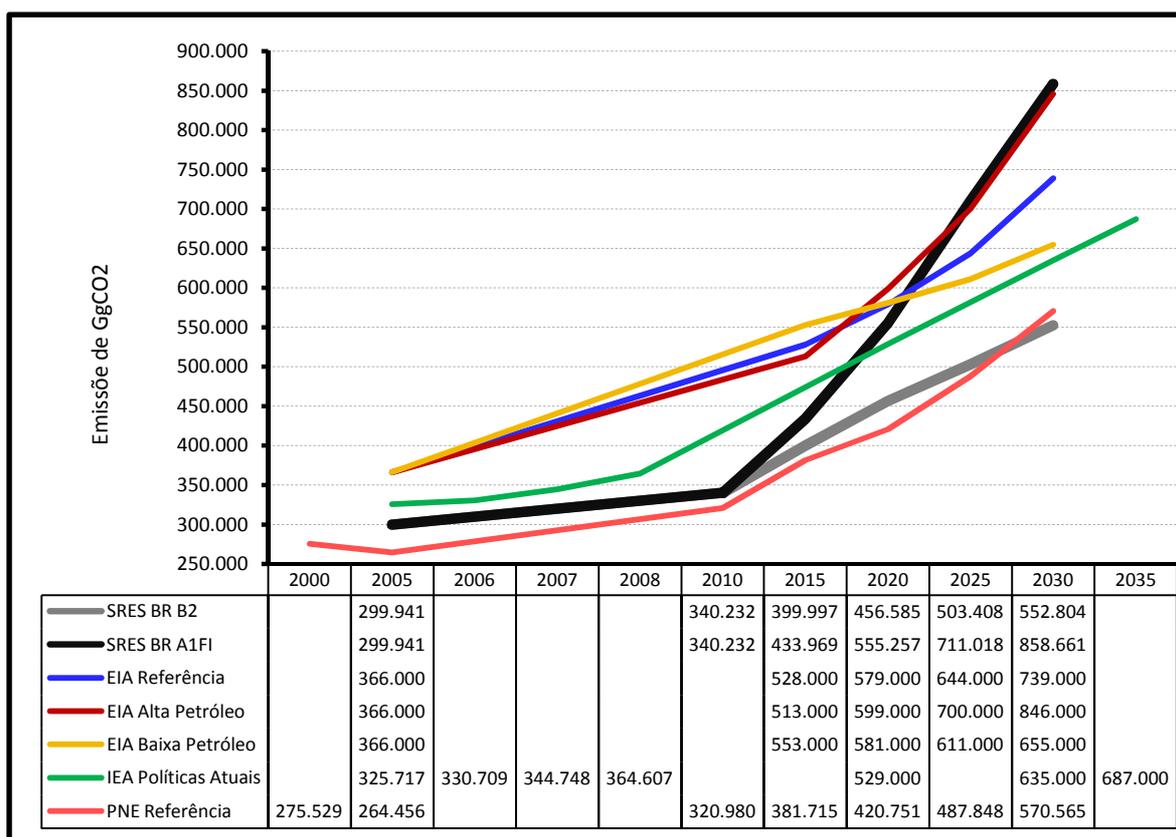
Os cenários de referência que mais se aproximaram dos SRES BR B2 foi o PNE Referência e o mais próximo do cenário SRES BR A1FI foi o EIA Alta Petróleo, que a partir de 2020 assume a mesma tendência. Embora o grupo de cenários da EIA apresentem trajetórias bem diferentes dos demais entre 2005 e 2020, a partir deste ano estes tendem na média para os resultados do SRES A1FI.

Embora não se possa afirmar que os cenários SRES BR A1FI seriam os que melhor representam a configuração futura das emissões brasileiras de combustíveis fósseis, há de destacar que todos os relatórios foram unânimes em afirmar que o Brasil registraria aumento significativo do consumo de derivados fósseis,

principalmente para atender o suprimento do setor de transportes, que vem demandando cada vez maiores volumes, sobretudo para transporte de carga no modal rodoviário, o mais ineficiente na relação consumo/carga transportada.

Embora o atual governo esteja implementando uma série de investimentos através do Plano Nacional de Logística de Transporte (PNLT), do Ministério dos Transportes, a configuração atual da matriz de transporte de carga nacional é bastante desfavorável para os modais alternativos ao rodoviário (58% por rodovias, 25% por ferrovias, 13% por meio aquaviário, 3,6% dutoviário e 0,4% por aéreo). Reverter este quadro se traduz em um grande desafio para um país de grande extensão territorial e que precisa cada vez mais de um sistema logístico integrado para suportar o crescimento de sua economia.

**Gráfico 23: Comparação das emissões de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções do SRES BR (B2 e A1FI) e demais Cenários de Referência entre 2000 e 2030**



Fonte: EIA (2011), EPE (2008b), IEA (2008, 2010 e 2012) e JCM (2011) com adaptação de PETROBRAS (2011).

## 5. COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> PARA O BRASIL

### 5.1. Cenários SRES BR de mitigação (B2 e A1FI)

Este capítulo objetiva modelar pelo JCM cenários de mitigação para o Brasil, a partir de uma configuração e seleção de variáveis um pouco diferentes das projeções anteriores que focara em cenários *Business-as-usual* (BAU). Agora os parâmetros não seguiram mais a lógica dos cenários SRES (cenários de referência), embora os respectivos cenários extraídos anteriormente (SRES BR B2, A1FI) sejam novamente inseridos nas comparações a fim de se avaliar as diferenças e possibilidades de ações futuras para o país.

Similarmente quando realizadas as modelagens JCM para mensuração dos conteúdos de combustíveis fósseis e respectivas emissões para o Brasil conforme o JCM, as projeções a serem estimadas para o Brasil neste capítulo envolvem seleção simplificada de parâmetros com ampliação de algumas possibilidades. Os novos cenários de mitigação pelo modelo se designarão **JCM BR B2 2°C** ou **JCM BR A1FI 2°C**, para o caso de estabilização de temperatura global a dois graus Celsius, e **JCM BR B2 450ppm** e **JCM BR A1FI 450ppm**, para o caso de estabilização da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico em 450ppm (partes por milhão).

Em 2009, na COP-15 ficou estabelecida a meta de limitar o aquecimento global a 2°C (acima dos níveis pré-industriais) ao longo deste século. Os cientistas calculam que haveria 50% de chances de o aumento da temperatura global limitar-se ao número acordado na COP-15 caso o carbono na atmosfera se estabilize em 450 ppm – atualmente tal concentração é de 390 ppm. A temperatura média do globo já subiu pouco menos de 1°C dos níveis pré-industriais (PWC, 2012).

Diferentes estudos independentes indicam que precisamos limitar o aquecimento global a menos de 2°C acima do nível pré-Revolução Industrial para evitar impactos perigosos sobre a natureza, a humanidade e a economia global. Para que o aumento da temperatura se estabilize abaixo de 2°C, o IPCC (2007) aponta que mudanças perigosas e irreversíveis poderão ser causadas por um aquecimento global médio de 2°C e estes se agravarão caso a temperatura suba acima disso. Com base na compreensão atual da realimentação entre o clima e o ciclo do carbono, os estudos com modelos sugerem que, para se estabilizar em 450ppm de dióxido de carbono, seria necessário que as emissões cumulativas de dióxido de carbono ao longo do século XXI fossem reduzidas de uma média de aproximadamente 670 [630 a 710] Gt C (2460 [2310 a 2600] GtCO<sub>2</sub>) para aproximadamente 490 [375 a 600] GtC (1800

[1370 a 2200] GtCO<sub>2</sub>). Ademais, mesmo que os países desenvolvidos reduzissem imediatamente a zero suas emissões, não seria possível alcançar a meta global de redução sem uma participação das economias emergentes, entre elas o Brasil.

Da mesma forma, as projeções JCM para cenários de mitigação se basearam em dados extraídos do Java Climate Model 5 (JCM5), versão de 11 de junho de 2011, relativos às emissões de CO<sub>2</sub>, por meio dos seguintes parâmetros, ativados através do menu “*Objectives and Scenarios*” do JCM. A sequência de parâmetros para os dois casos encontram-se abaixo e nas Figura 2 e Figura 3 as seleções parciais marcadas e o layout da árvore de seleção com destaque para a sequência de parâmetros utilizados do modelo Java Climate Model 5, sendo cada um indicado por setas azuis.

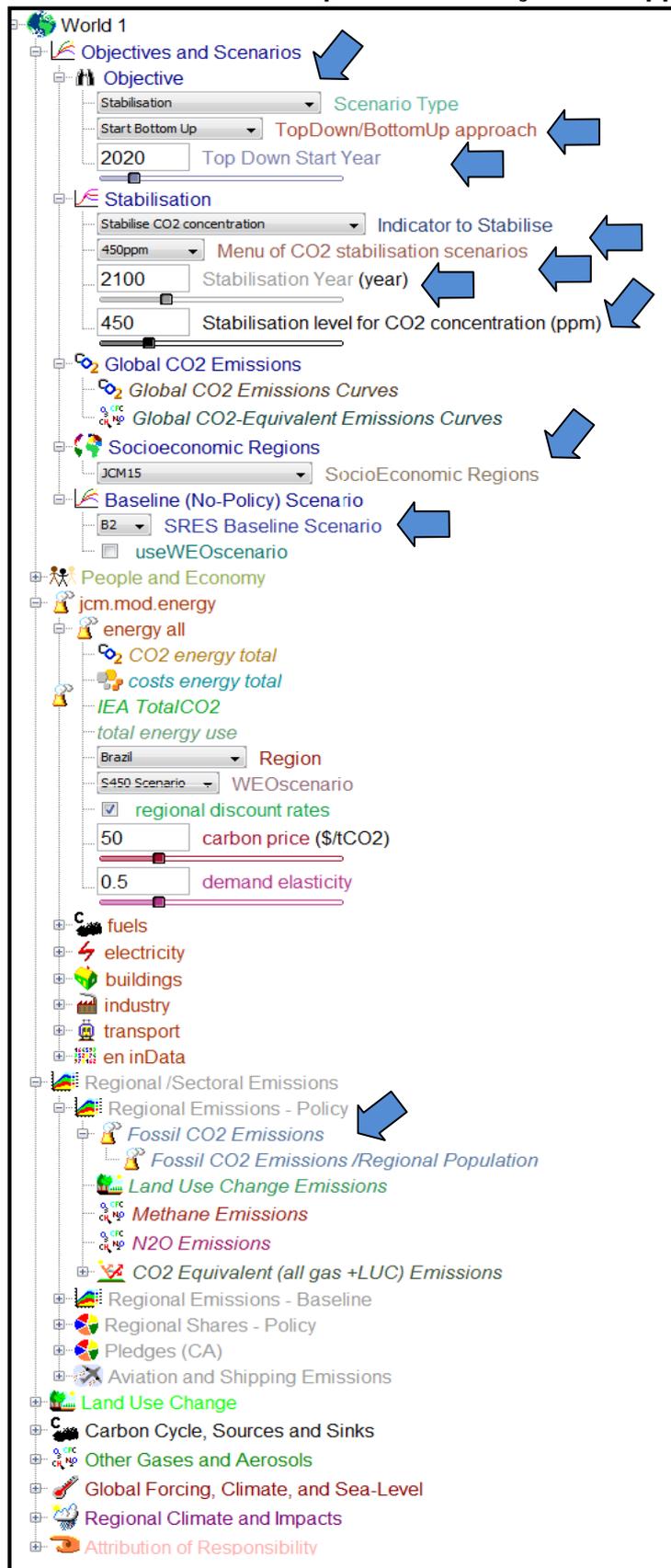
**Estabilização da temperatura em 2°C:**

Objectives and Scenarios => Objective => Scenario Type: Stabilisation => TopDown/BottomUp approach: Start Bottomm Up => Indicator to Stabilise: Stabilise Temperature => Stabilization Year (year): 2100 => Stabisation Stabilise Temperature at (C): 2 => Socioeconomic regions: JCM15 => Baseline (No-Policy) Scenario => SRES Baseline Scenario: B2 ou A1F => Regional/Sectoral Emissions: Fossil CO2 Emissions => Table

**Estabilização da concentração de CO<sub>2</sub> em 450ppm:**

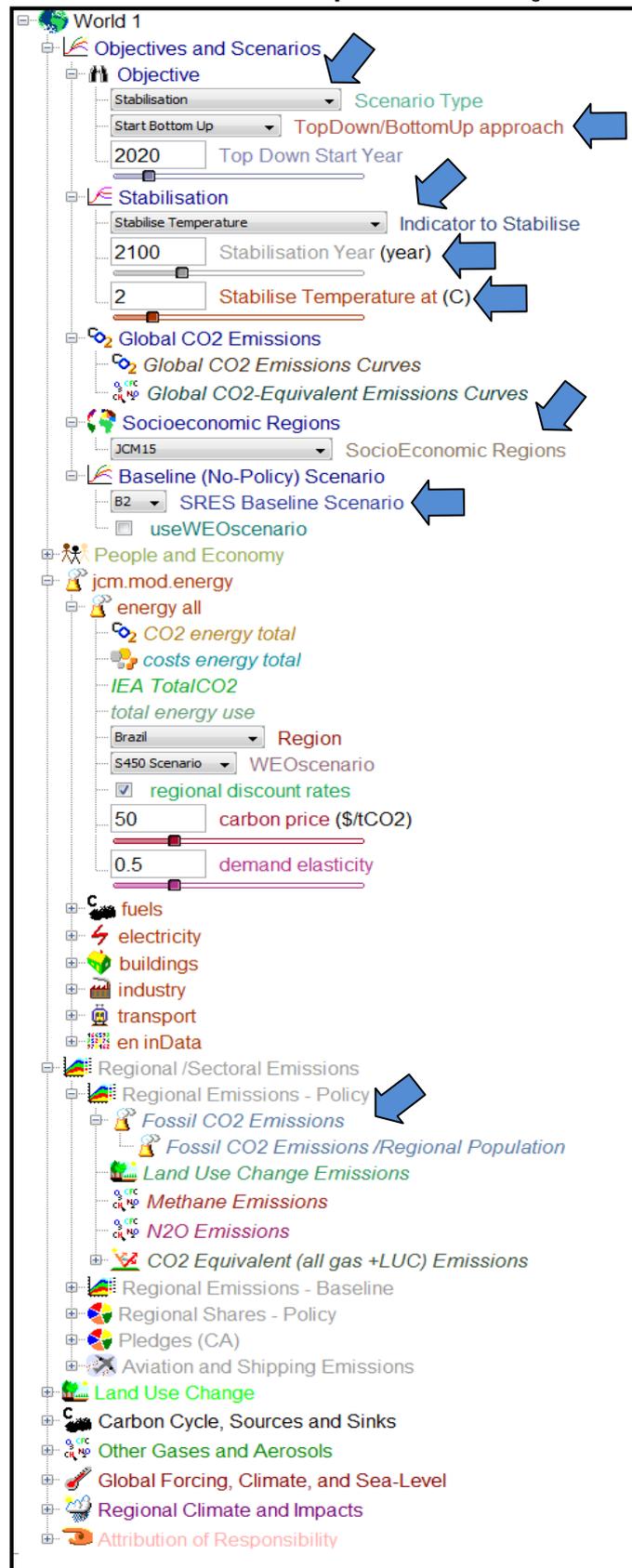
Objectives and Scenarios => Objective => Scenario Type: Stabilisation => TopDown/BottomUp approach: Start Bottomm Up => Indicator to Stabilise: Stabilise CO2 concentration => Menu of CO2 stabilisation scnearios: 450ppm => Stabilization Year (year): 2100 => Stabilisation level for CO2 concentration: 450 => Socioeconomic regions: JCM15 => Baseline (No-Policy) Scenario => SRES Baseline Scenario: B2 ou A1F => Regional/Sectoral Emissions: Fossil CO2 Emissions => Table

**Figura 2: Apresentação do layout da árvore de seleção do Java Climate Model 5 com sequência de seleções / 450ppm**



Fonte: JCM (2011), disponível em [www.climate.be/jcm](http://www.climate.be/jcm).

**Figura 3: Apresentação do layout da árvore de seleção do Java Climate Model 5 com sequência de seleções / 2°C**



Fonte: JCM (2011), disponível em [www.climate.be/jcm](http://www.climate.be/jcm).

Apresentam-se pelo Gráfico 25 os resultados das duas projeções de mitigação (JCM BR 2°C, JCM BR 450ppm), bem como a projeção de referência SRES BR, todos representados para os cenários B2 e A1FI, consoante os combustíveis fósseis consumidos no Brasil, sendo também os valores das emissões em GgCO<sub>2</sub> anexados ao próprio gráfico. Os dois cenários SRES BR foram inseridos para efeito de comparação.

Estes seis cenários, ao serem combinados, destacam o fato de que se o nível de emissões brasileiras assumirem a trajetória SRES BR A1FI, o país terá maiores dificuldades para contribuir com o nível atmosférico de 450ppm de estabilização, em que teria de empregar um esforço de redução da ordem de 19% até o ano de 2030, o que equivaleria a uma redução acumulada de 165.221GgCO<sub>2</sub>. Para este mesmo cenários de referência, teria-se que promover uma redução ainda maior, de 26% (ou 226.267 GgCO<sub>2</sub>) a fim de cumprir com a meta de estabilização da temperatura em 2°C ao final do período.

Em análise equivalente, só que assumindo-se como referência para o cenário SRES BR B2, os níveis de redução a serem efetivados seria menor: -134.951 (GgCO<sub>2</sub>) e -191.267 (GgCO<sub>2</sub>), ou variação de -24% e -35%, respectivamente para os casos de estabilização de concentração atmosférica e de estabilização de temperatura. As variações percentuais de queda são maiores no caso dos cenários B2, pelo fato das bases de emissões serem menores em comparação aos respectivos cenários A1FI.

Todos estes resultados de saldo e variação (%) entre os cenários, bem como para os outros anos do período, encontram-se descritos pela tabela 34. Os anos de 2005 e 2010 não foram apresentados por serem pretéritos, registrando os mesmo níveis de emissões independentemente do cenário.

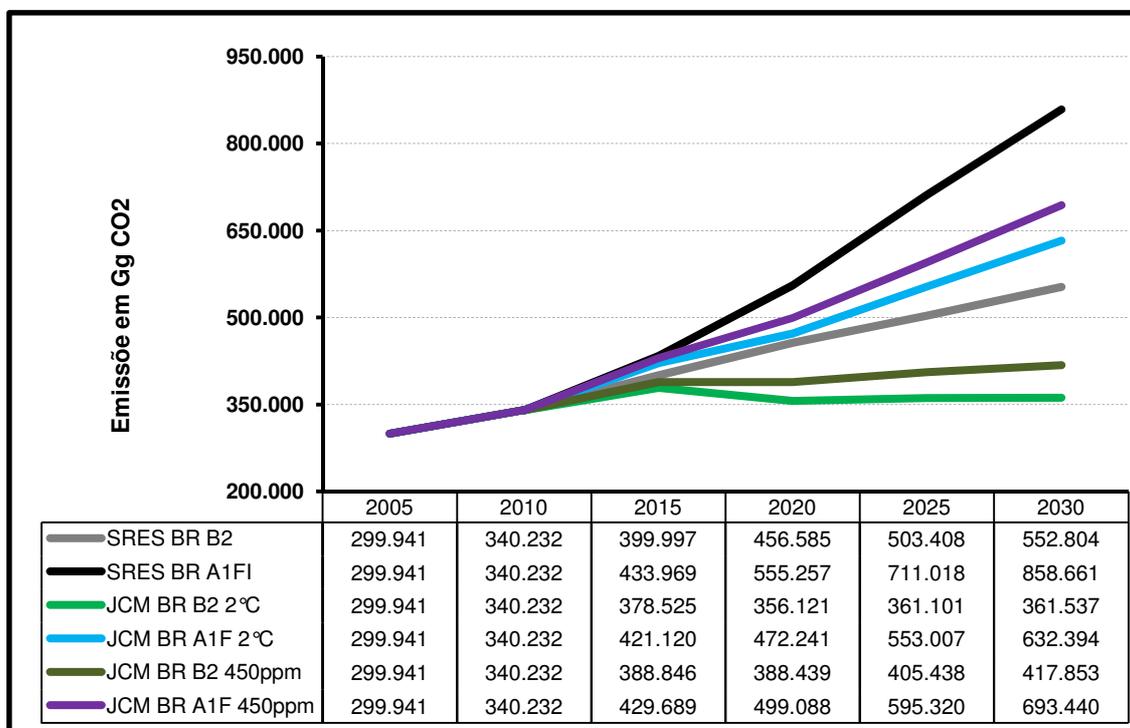
Já pelo Gráfico 24, evidencia-se o movimento semelhante ao longo do período, embora não proporcional, que as curvas de 2°C e 450ppm assumem para cada cenário (B2 ou A1FI), indicando a correspondência que há entre estas ações de mitigação. Cabe destacar também que, afóra os cenários JCM BR B2, que apresentam a partir de 2020 uma tendência de estagnação das emissões, todos os demais registram elevação de suas emissões até 2030.

**Tabela 34: Comparação entre cenários de Referência e de Mitigação da mesma família (B2 ou A1FI) segundo projeções de emissões entre 2015 e 2030**

Cenários	Ano			
	2015	2020	2025	2030
<b>Saldo entre Cenários da mesma Família (GgCO<sub>2</sub>)</b>				
JCM BR B2 2°C	-21.472	-100.464	-142.307	-191.267
JCM BR A1F 2°C	-12.849	-83.016	-158.011	-226.267
JCM BR B2 450ppm	-11.151	-68.146	-97.970	-134.951
JCM BR A1F 450ppm	-4.280	-56.169	-115.698	-165.221
<b>Varição (%) entre Cenários da mesma Família</b>				
JCM BR B2 2°C	-5%	-22%	-28%	-35%
JCM BR A1F 2°C	-3%	-15%	-22%	-26%
JCM BR B2 450ppm	-3%	-15%	-19%	-24%
JCM BR A1F 450ppm	-1%	-10%	-16%	-19%

Fonte: JCM (2011).

**Gráfico 24: Emissões brasileiras de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis segundo cenários de mitigação do JCM BR (B2 e A1FI / 2°C e 450ppm) entre 2005 e 2035**



Fonte: IEA (2010 e 2012) e JCM (2011), com adaptação de PETROBRAS (2011).

## **5.2. Comparação das projeções de emissões de CO<sub>2</sub> de Cenários SRES BR de mitigação (B2 e A1FI) com os cenários de mitigação do IEA (Cenário Novas Políticas e 450ppm)**

A *International Energy Agency* (IEA), no documento “World Energy Outlook 2010 (WEO 2010)”, relatório editado meses após a realização da 15ª Conferência das Partes da UNFCCC (Copenhague / 2009), afirma que os compromissos anunciados pelos países no âmbito do Acordo de Copenhague tendo em vista a redução das suas emissões nacionais de GEE, ficaram coletivamente muito aquém do que seria necessário para colocar o mundo numa trajetória que lhe permitisse atingir a meta do referido acordo: a de limitar o aumento da temperatura atmosférica global a 2°C.

Reconhecendo os importantes avanços políticos recentes, o cenário central das edições do Outlook de 2010 e 2012 (WEO2010 e WEO2012) – o *New Policies Scenario* (Cenário Novas Políticas) – toma em consideração os amplos compromissos políticos e os planos anunciados por vários países no mundo, incluindo as promessas nacionais de reduzir as emissões de GEE e os programas de abandono progressivo dos subsídios às energias fósseis, mesmo se ainda estiverem por identificar ou anunciar as medidas para concretizar esses compromissos. Assume-se inclusive que estes serão implementados de forma bastante tímida, devido ao seu caráter não vinculativo e, em muitos casos, devido também às incertezas quanto à forma de concretizá-los.

### ***Cenário IEA de Novas Políticas***

Se os países encararem esses compromissos com prudência, sendo essa a posição assumida no Cenário IEA de Novas Políticas, a demanda crescente de combustíveis fósseis continuará a provocar o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a energia durante o período analisado pelo WEO2010. Neste sentido, a IEA considera que esta tendência impossibilitaria totalmente o alcance da meta dos 2°C, visto que a efetivação das reduções de emissões necessárias após 2020 ser demasiadamente importante (IEA, 2010).

Reconhecendo os avanços políticos recentes, o cenário Novas Políticas leva em consideração os amplos compromissos políticos e os planos anunciados por vários países no mundo, incluindo as promessas nacionais de reduzir as emissões de GEE e os programas de abandono progressivo dos subsídios às energias fósseis, mesmo se ainda estiverem por identificar ou anunciar as medidas para concretizar esses

compromissos. Assume-se, porém, que estes serão implementados de forma bastante tímida, devido ao seu carácter não vinculativo e, em muitos casos, às incertezas quanto à forma de concretizá-los (IEA, 2010). O WEO2012 considera que os compromissos políticos e os planos anunciados recentemente pelos governos, para serem implementados, teriam de ter um verdadeiro impacto na demanda energética e nas emissões de CO<sub>2</sub> (IEA, 2012).

### **Cenário IEA 450**

Conforme o entendimento da EIA, a meta dos 2°C só poderá ser atingida mediante a concretização de medidas enérgicas até 2020 e uma ação de cunho global ainda mais após nos anos subsequentes (IEA, 2012). Segundo os especialistas sobre a evolução do clima, a fim de se ter uma hipótese razoável para o alcance deste objetivo, a concentração de GEE deverá estabilizar-se a um nível não superior a 450ppm de CO<sub>2</sub>eq.

Desta forma, o Cenário IEA 450 procura descrever a maneira como o setor de energia poderia evoluir caso se concretizasse este objetivo, assumindo que serão tomadas as medidas com vista a atingir a parte mais ambiciosa das ações pertinentes, estando em conformidade com o Acordo de Copenhague e considerando que o abandono de subsídios aos combustíveis fósseis, acordado pelo G-20<sup>35</sup>, será implementado ainda mais rapidamente do que previsto no Cenário Novas Políticas. Esta ação tem por efeito a redução mais rápida das emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas com a demanda de energia.

No Cenário IEA 450, as emissões atingem um pico de 32 TgCO<sub>2</sub> pouco antes de 2020, começando em seguida a diminuir até 22 TgCO<sub>2</sub> em 2035. Apenas dez medidas de redução das emissões em cinco países – Estados Unidos, União Européia, Japão, China e Índia – representam metade das reduções de emissões necessárias durante o “período Outlook” neste cenário, comparado com o Cenário de Políticas Atuais (IEO, 2010 e 2012).

Para se reduzir suficientemente as emissões de modo a atingir a meta dos 2°C, a IEA considera necessária uma transformação profunda do sistema de energia

---

<sup>35</sup> O G-20 é um fórum informal que promove debate aberto e construtivo entre países industrializados e emergentes sobre assuntos-chave relacionados à estabilidade econômica global. Criado em resposta às crises financeiras do final dos anos 1990, o G-20 é composto pelos Ministros de Finanças e Presidentes de Bancos Centrais de 19 países: África do Sul, Alemanha, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, Coreia do Sul, França, Índia, Indonésia, Itália, Japão, México, Rússia, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos. A União Européia também faz parte do Grupo, representada pela presidência rotativa do Conselho da União Européia e pelo Banco Central Europeu (BCB, 2011).

mundial. Além disso, o documento WEO2012 (IEA, 2012) ressalta o descrédito quanto à implementação dos compromissos para 2020, pois muitos são ambíguos e podem dar espaço a interpretações bem menos ambiciosas do que as projeções do Cenário 450ppm. Como exemplo, o WEO2012 enfatiza que vários países propuseram escalas de redução de emissões, ou estabeleceram objetivos com base na intensidade de carbono ou de energia e/ou numa base de referência do PIB diferente daquela que o IEA adotou em suas projeções. De um modo geral, estima-se que a incerteza ligada a esses fatores equivale a 3,9 Pg de emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a produção de energia em 2020, ou cerca de 12% das emissões projetadas no Cenário 450ppm (IEA, 2012).

Diante de toda a análise configurada pelos relatórios WEO2010 e WEO2012, tem-se a afirmativa de que as perspectivas mundiais da energia até 2035 dependem de uma forma crítica das ações políticas governamentais e da maneira como essas ações afetarão a tecnologia, o preço dos serviços energéticos e o comportamento dos utilizadores finais.

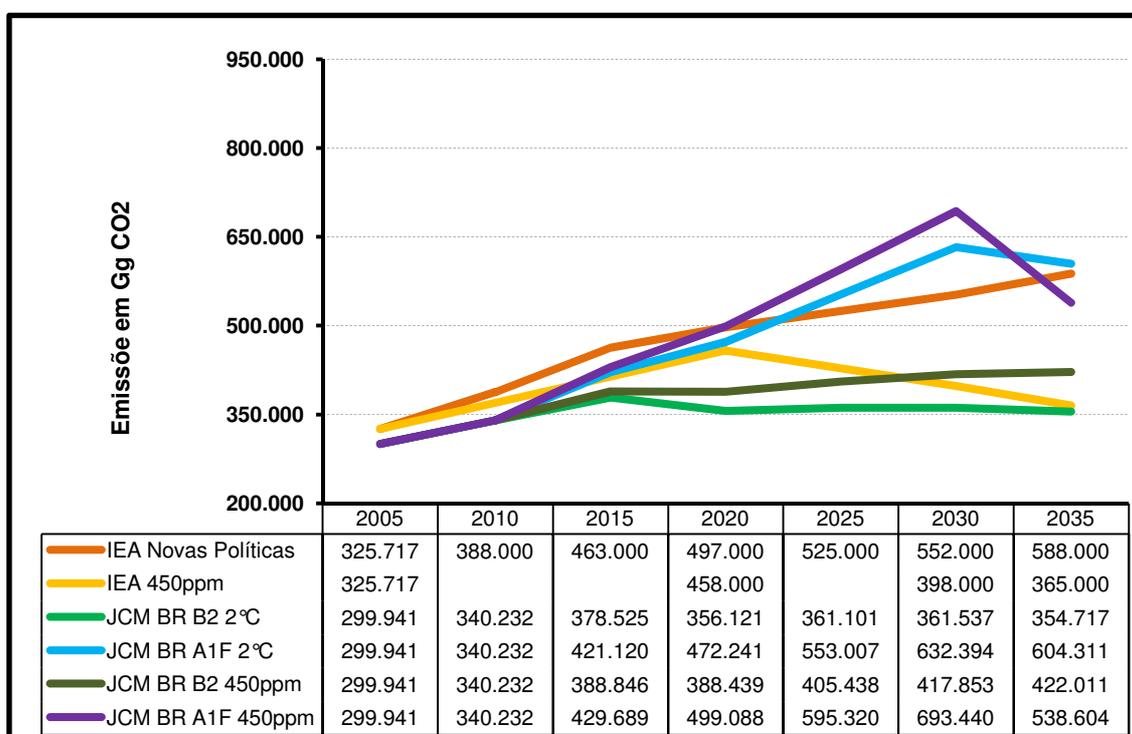
Apresentam-se pelo Gráfico 25 os resultados das projeções JCM BR (B2 e A1FI) e os discriminados pelos Cenários da IEA (Políticas Atuais, Novas Políticas e 450ppm) para o total dos combustíveis fósseis consumidos no Brasil, referindo-se estes ao total de derivados de petróleo, gás natural e carvão. Os valores das emissões em GgCO<sub>2</sub> encontram-se anexados ao próprio gráfico.

Quanto aos dois cenários do IEA, o de Novas Políticas manteve por todo o período uma tendência condizente com o cenário JCM BR A1FI 2°C, que registrou uma inflexão entre 2030, ao passo que em 2035 os respectivos valores de emissões de CO<sub>2</sub> são bastantes próximos. Neste ano, enquanto o Cenário JCM BR A1FI 2°C registrou 604.311 GgCO<sub>2</sub>, o Cenário Novas Políticas computou 588.000 GgCO<sub>2</sub>.

Já o Cenário 450ppm da IEA, apresentou trajetória mais próxima dos dois cenários JCM BR B2, fechando este período com resultado praticamente iguais levando-se em consideração fatores de aproximação (o IEA apenas divulga em seus relatórios dados em TgCO<sub>2</sub> sem casas decimais) e diferentes formas de tratamento das informações. Esta tendência já poderia-se esperar pelo fato de que o cenário 450ppm do IEA considera que as políticas pró-redução de emissões de gases estufa conseguem ser efetivas ao longo dos anos, com os governos sendo eficientes na implementação de ações e regulação. Embora a proposta do trabalho seja de cumprir o período até 2030, esta análise prosseguiu até o ano de 2035, procurando-se privilegiar toda a série de dados disponibilizados pela IEA.

A curva JCM BR A1FI 450ppm apresenta evolução quase que linear até 2030, ano que registra a maior inflexão dentre todos os cenários. Caso o país prossiga nas próximas décadas elevando seu consumo de fósseis ao nível A1FI, fica evidenciado que o Setor de Energia do país, se quiser implementar esforços de forma a contribuir efetivamente para atender ao limite dos 2°C e concentração de GEE na atmosfera em torno de 450ppm CO<sub>2</sub>eq, teria que empreender esforços significativos que deverão ir além da política e dos compromissos internos assumidos até então, sejam legislativos ou de caráter intersetorial.

**Gráfico 25: Emissões de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis no Brasil segundo projeções de mitigação do JCM BR (B2 e A1FI) e da IEA (Cenário de Novas Políticas e Cenário 450ppm)\* entre 2005 e 2035**



Fonte: IEA (2010 e 2012) e JCM (2011) com adaptação de PETROBRAS (2011).

Nota: (\*) Os Cenários IEA (Novas Políticas e 450ppm) consideram as emissões provenientes do consumo de gás natural, carvão mineral e petróleo, este último referindo-se ao total de derivados de petróleo consumidos pelos subsetores de energia e durante o processo de produção e refino.

### **5.3. Estimativas de abatimento das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas ao Setor Energia no Brasil até 2020**

Considerando-se os compromissos voluntários de redução de emissões de GEE assumidos pelo Brasil na 15<sup>a</sup> Conferência das Partes da UNFCCC (COP-15) - tal como definidos na Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e posteriormente regulamentados pelo Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010 - foram inseridas na análise as projeções até 2020 segundo as medidas de redução de emissões de gases previstas pelo Plano Setorial de Energia para Mitigação das Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE), que por sua vez se baseia nas diretrizes do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010).

De acordo com esta Lei, o Brasil adotará ações de mitigação das emissões de GEE, com vistas a reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020, com base nos valores de 2005. A lei estabelece ainda que essa projeção, assim como o detalhamento das ações para alcançar o objetivo de mitigação, terá por base o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE (MCTI, 2010).

A posição brasileira, por meio da PNMC é de que estas metas sejam de caráter voluntário, não tendo vínculo com nenhuma meta ou acordo estipulado no âmbito da UNFCCC. Entretanto, a partir do momento que as metas brasileiras de redução de GEE foram legitimadas e promulgadas em Lei após aprovação pelo Congresso Nacional do Brasil, estas assumem caráter obrigatório no âmbito nacional, devendo ser cumpridas pelos diversos agentes dos respectivos setores vinculados. Isso, mesmo considerando-se que estas sejam de caráter voluntário no plano internacional, não delegando, portanto, ao Brasil, o cumprimento de metas quantitativas de redução de emissões de GEE legitimadas por acordos internacionais, como previsto inicialmente no Protocolo de Kyoto.

Conforme destacado por SEROA (2011), “a PNMC vai além de formalizar as posições brasileiras no âmbito externo, [uma vez que ampara] as posições brasileiras nas discussões multilaterais e internacionais sobre combate ao aquecimento global, traduzindo-se em um marco legal para a regulação das ações de mitigação e adaptação no país (...) marco esse que dita princípios, diretrizes e instrumentos para a consecução dessas metas nacionais independentemente da evolução dos acordos globais de clima”.

A execução das diretrizes e objetivos previstos pela PNMC são implementados fundamentalmente por três instrumentos: a Comunicação do Brasil à Convenção-

Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - já abordada; o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e; o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. O Plano Nacional sobre Mudança do Clima, estruturado em quatro eixos (oportunidades de mitigação; impactos, vulnerabilidades e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e educação, capacitação e comunicação) foi lançado em dezembro de 2008 visando incentivar o desenvolvimento e aprimoramento de ações de mitigação no Brasil, colaborando com o esforço mundial de redução das emissões de GEE e objetivando a criação de condições internas para lidar com os impactos das mudanças climáticas globais (MMA, 2012)<sup>36</sup>. Já o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (“Fundo Clima”), criado pela Lei nº 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº 7.343/2010, assume a atribuição de financiar projetos, estudos e empreendimentos que visem à mitigação (ou seja, à redução dos impactos) da mudança do clima e à adaptação a seus efeitos (MMA, 2012).

Na consecução do compromisso voluntário, o Decreto nº 7390/2010 prevê, em torno do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, a integração entre os Planos de Ação para a prevenção e controle do desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado, e os Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas, estes últimos no objetivo de contribuir para a consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono. De dez Planos Setoriais<sup>37</sup> previstos pelo governo, apenas o último é de caráter voluntário e ainda terá de passar pela aprovação do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM)<sup>38</sup>:

- ⇒ Energia / Plano Decenal de Energia (PDE);
- ⇒ Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM);
- ⇒ Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado (PPCerrado);
- ⇒ Agricultura / Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC);
- ⇒ Indústria (de transformação e de bens duráveis; construção civil / químicas fina e de base / papel e celulose) / Plano Setorial de Mitigação da Mudança

---

<sup>36</sup> <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima> (acesso em 20/12/2012)

<sup>37</sup> O processo de elaboração dos Planos Setoriais ficou sob a responsabilidade dos órgãos setoriais competentes, sendo coordenado pelo Grupo Executivo do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (Gex/CIM). Cada órgão produziu o conteúdo técnico, bem como promoveu a articulação com os atores envolvidos em cada temática. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/grupo-executivo-sobre-mudanca-do-clima/comit%C3%AA-interministerial-sobre-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas> (acesso em 20/12/2012)

<sup>38</sup> O Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) foi instituído por meio do Decreto nº 6.263/2007 com a atribuição de orientar a elaboração, a implementação, o monitoramento e a avaliação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima. É composto por 16 Ministérios e pela Casa Civil, sendo as decisões institucionalizadas por meio de Resoluções (MMA, 2012).

Climática para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação (Plano Indústria);

- ⇒ Siderurgia / Plano de redução de emissões da Siderurgia;
- ⇒ Mineração / Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono (PMBC);
- ⇒ Transporte e Sistemas modais / Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima (PSTM);
- ⇒ Saúde / Plano Setorial da Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima;
- ⇒ Pesca & Aquicultura / Plano Setorial de Pesca e Aquicultura para Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima (de caráter voluntário).

Importante ressaltar que, além de conter uma estratégia de mitigação, os Planos Setoriais também deverão incluir ações de adaptação, definida pela Lei nº 12.187/2009 como iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima.

Com relação ao Setor de Energia especificamente, conforme discorrido por EPE (2011), as discussões conduzidas pelo governo, envolvendo o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC)<sup>39</sup> e entidades representativas de diferentes setores (empresarial, acadêmico, sindical e sociedade civil), firmaram o entendimento de que o principal instrumento para projeção do cenário de mitigação de emissões antrópicas de GEE são os Planos Decenais de Energia.

Consoante Nota Técnica EPE Versão 1.0 (de 05/10/2009), elaborada para embasar a proposta brasileira de redução voluntária das emissões antrópicas de GEE até 2020 (TOLMASQUIM & GUERREIRO, 2009), "(...) o cenário de expansão da oferta de energia no Brasil, considerado no PDE, assim como outros estudos do gênero [a exemplo do cenário de expansão do consumo a partir do PNE 2030 (EPE, 2007 e 2008)] elaborados pela própria EPE no exercício de sua atribuição de dar suporte ao planejamento energético brasileiro, constitui um cenário de estabilização na medida em que atende [as seguintes] condições: incorporar meta de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente, e; compreenda, explícita e implicitamente, políticas e medidas no sentido de viabilizar o atingimento da meta específica de emissões de GEE"<sup>40</sup>. Ainda segundo

---

<sup>39</sup> O Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC) tem por objetivo conscientizar e mobilizar a sociedade para a discussão e tomada de posição sobre os problemas decorrentes da mudança do clima por GEE. Mediante sua atribuição, prevista pelo Decreto nº 3.515/2000, de auxiliar o governo na incorporação das questões sobre mudanças climáticas nas diversas etapas das políticas públicas, o FBMC auxiliou no processo de construção do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e atuou como instituição co-responsável pelo processo de consultas públicas implementado para cada Plano Setorial, junto ao Ministério do Meio Ambiente (PR, 2000).

<sup>40</sup> Palavras ou frases inseridas por colchetes foram acrescentadas, pelo autor, ao trecho extraído do texto original, como forma de simplificar o entendimento e embasar a discussão voltada ao presente estudo.

esta Nota Técnica, ao atender estas duas condições, o cenário de estabilização é reconhecido como um cenário de mitigação ou intervenção na classificação do IPCC (FISHER *et al*, 2007 *in* TOLMASQUIM & GUERREIRO, 2009).

Além disso, o cenário de expansão proposto pelo PNE 2030 tem sido ratificado em sucessivas edições dos planos decenais, em especial no PDE 2019 (EPE, 2010b) e no PDE 2020 (EPE, 2011), sendo utilizados inclusive para sustentação de ações do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal. Outra evidência citada em TOLMASQUIM & GUERREIRO (2009), se refere ao relatório publicado pelo Banco Mundial, no qual se reconhece que os planos brasileiros de expansão de oferta de energia já compreendam políticas e ações mitigadoras de emissões, projetando, porém, baixas emissões.

Desta forma, o Plano Decenal de Energia (PDE) foi aprovado, inclusive pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), como Plano Setorial que orienta a expansão da oferta de energia. Neste sentido, o PDE é tido um cenário de mitigação ou de intervenção, não sendo, portanto, considerado um cenário “*business-as-usual*” (BAU), justamente por já compreender medidas necessárias para se atingir os objetivos básicos colocados desde sua formulação, entre os quais se insere a redução pelo setor de emissões de GEE.

Conforme estipulado no Decreto nº 7.390/2010, o cálculo das emissões de GEE decorrentes da produção e do uso da energia para 2020 fez-se por meio da construção de cenários elaborados pela EPE a partir de modelos de previsão de demanda baseados em estimativas populacionais, econômicas e de evolução da intensidade das emissões no setor energético (PR, 2010).

Como explicitado em TOLMASQUIM & GUERREIRO (2010), o PDE não é considerado como cenário BAU por compreender medidas necessárias para se atingir os objetivos básicos colocados desde sua formulação, entre os quais se insere a redução de emissões de GEE. Neste sentido, as hipóteses básicas que nortearam os cálculos, foi considerar a evolução das emissões decorrentes da produção e do uso da energia seria em função do crescimento demográfico, da renda *per capita* e de mudanças na intensidade energética. Essa relação, como já visto no capítulo 2, é dada pela “*identidade Kaya*”. Dada essa relação, os cenários de emissões podem ser caracterizados com base em estimativa da população, do crescimento econômico e do desenvolvimento da intensidade das emissões (FISHER, B.S *et al*, 2007) tendo sido, então, consideradas pela EPE as seguintes hipóteses básicas na estimativa das emissões de energia:

- Crescimento demográfico: o mesmo adotado nos estudos do PDE 2020 e na edição revisada do PNE 2030, consolidados na Nota Técnica DEA 03/09 (EPE, 2009);
- Crescimento econômico: expansão de 7% em 2010 e de 5% ao ano, em média, entre 2011 e 2020.

Nessas condições, em termos quantitativos, o cenário considerado para o crescimento demográfico e da economia no Brasil foi o apresentado na tabela 35, restando por definir as premissas para evolução da intensidade das emissões.

**Tabela 2: Cenário de crescimento econômico e demográfico brasileiro**

Variável	2009	2010	2020
PIB, R\$bi (2009)	3.143,0 (*)	3.363,0	5.478,0
População (10 <sup>6</sup> hab)	192,4	194,1	207,7
PIB per capita (R\$/hab)	16.335	17.325	26.375

Fonte: TOLMASQUIM & GUERREIRO (2010).

Nota: (\*) PIB 2009 conforme <<http://www.ipeadata.gov.br>>

De acordo com os resultados preliminares do Segundo Inventário de Emissões utilizados pela EPE, as emissões de GEE decorrentes da produção e do uso da energia no Brasil somariam 256,4 MtCO<sub>2</sub>eq em 1994 e cresceriam para 362,0 MtCO<sub>2</sub>eq em 2005 (MCTI, 2010). Considerando os dados do PIB então disponibilizados no sítio do IPEA<sup>41</sup>, verificou-se que a intensidade das emissões aumentou entre 1994 e 2005, conforme indicado na Tabela 36.

<sup>41</sup> Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: <<http://www.ipeadata.gov.br>>, acesso em setembro de 2010.

**Tabela 36: Emissões brasileiras de GEE devidas à produção e ao uso da energia para 1994 e 2005 (dados preliminares do Segundo Inventário Brasileiro)**

Variável	1994	2005
Emissões, MtCO <sub>2</sub> eq	256,4	362,0
PIB, R\$ bi [2009]	2.052,2	2.715,6
GEE/PIB, kgCO <sub>2</sub> eq/10 <sup>3</sup> R\$	124,9	133,3

Fonte: TOLMASQUIM & GUERREIRO (2010).

Neste contexto, conforme prospectado por TOLMASQUIM & GUERREIRO (2010), “um cenário que combine desenvolvimento econômico e redução da pobreza tende a exercer pressão por aumento no consumo de energia e, por conseguinte, no volume de emissões de GEE, caso não sejam adotadas políticas e ações específicas em sentido contrário”. Assim, um cenário de estabilização compreenderia necessariamente admitir a hipótese de se chegar em 2020 ao menos com a mesma intensidade de emissões verificada em 2005, ou seja, 133,3 kgCO<sub>2</sub>eq/10<sup>3</sup>R\$ [2009]. Admitindo-se as hipóteses básicas enunciadas e aplicando-se a “identidade de Kaya” foi estabelecido que, em 2020, as emissões brasileiras de GEE relacionadas à produção e ao uso da energia seriam limitadas a 730 MtCO<sub>2</sub>eq. Ou seja, esse valor seria o limite das emissões correspondentes a um cenário de estabilização formulado com a meta de manter em 2020 a mesma intensidade de emissões de 2005 (TOLMASQUIM & GUERREIRO, 2010).

Contudo, o desafio era estabelecer o cenário BAU uma vez que o Plano Setorial de Energia já contemplaria as medidas que eram ou seriam implementadas com vistas ao cumprimento da meta de reduzir ou minimizar as emissões de GEE. Para isso, TOLMASQUIM & GUERREIRO (2010) adotaram metodologia proposta por MEIRA FILHO & MACEDO (2009) que afirma que nessas situações “tem sido comum utilizar como referência uma linha de base, ou cenário BAU, correspondendo ao que ocorreria sem que medidas fossem tomadas visando a redução de emissões. (...) Os cenários de linha de base, ou BAU, são hipotéticos, ou um contrafactual – cenário de futuro que poderia ocorrer, mas não ocorreu – e, portanto, não sujeitos à demonstração ou verificação objetiva. (...) A única forma de evitar esses problemas é adotar uma referência fixa e, portanto, mensurável”.

MEIRA FILHO E MACEDO (2009) haviam calculado a contribuição para a mudança do clima resultante do uso da gasolina e do etanol para o período entre 1990

e 2030. O fizeram mantendo “o volume de etanol já produzido em 1990 (11,8 Mm<sup>3</sup>) constante no período, com o consumo de combustível para motores do ciclo Otto sendo completado com gasolina até os valores de demanda real (1990 a 2007) e projetada entre 2008 e 2030 a partir do Balanço Energético (EPE, 2007). Contra esta referência é calculado o efeito do etanol, medido pelo consumo de etanol e gasolina (real, 1990 a 2008; projetado, 2008 a 2030)”.

No caso das emissões de energia, para quantificar o efeito das medidas que já estão explícita ou implicitamente consideradas na projeção das emissões de GEE em 2020, aplicou-se a mesma metodologia no caso do etanol. A referência adotada para efeito de cálculo foi a situação existente no ano de 2009. A escolha desse ano como referência teve em conta o anúncio do governo brasileiro das metas voluntárias de abatimentos de emissões de GEE ter ocorrido nesse ano, permitindo que a avaliação dos efeitos das medidas de mitigação se referisse basicamente aos anos de projeção, isto é, sem carregar efeitos do passado, já incorporados à matriz energética.

Em novembro de 2009, pouco antes da divulgação pela delegação brasileira dos dados relativos à meta voluntária na COP-15, foram apresentados os resultados preliminares pelos quais a estimativa das emissões do Setor de Energia em 2020 seriam de aproximadamente 901 GtCO<sub>2</sub>, sendo a amplitude da redução de emissões de 166 GtCO<sub>2</sub> a 207 GtCO<sub>2</sub>, a ser alcançada por meio de Ações Nacionais Voluntárias de Mitigação (Namas<sup>42</sup>, na sigla em inglês) – Vide tabela 37. A proporção das reduções do Setor de Energia ficariam, portanto, entre 6,10% e 7,70%.

---

<sup>42</sup> Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs): são as Ações Nacionais de Mitigação Apropriadas às realidades nacionais. Definidas no parágrafo 1(b) (ii) do Plano de Ação de Bali, são um conjunto de medidas de caráter político, regulatório ou financeiro que devem ser definidas por países em desenvolvimento com o objetivo de mitigar as mudanças climáticas de maneira consistente com as circunstâncias nacionais e com as responsabilidades históricas. Elas devem ser mensuráveis, reportáveis e verificáveis por outros países (Decisão 1/CP.13, Plano de Ação de Bali / 14 e 15 de dezembro de 2007).

**Tabela 37: Ações para mitigação das emissões brasileiras de energia até 2020**

Ações de Mitigação (NAMAs)	2020 Tendencial (GtCO <sub>2</sub> )	Amplitude da redução 2020 (GtCO <sub>2</sub> )		Proporção de Redução	
Eficiência Energética		12	15	0,40%	0,60%
Incremento do uso de biocombustíveis		48	60	1,80%	2,20%
Expansão da oferta de energia por Hidroelétricas		79	99	2,90%	3,70%
Fontes Alternativas (PCH, Bioeletricidade, eólica)		26	33	1,00%	1,20%
<b>Total Setor Energia</b>	<b>901</b>	<b>166</b>	<b>207</b>	<b>6,10%</b>	<b>7,70%</b>

Fonte: MMA *et al* (2009).

Estes resultados, no entanto, como se valeram de dados preliminares aos divulgados pelo Plano Decenal de Energia 2020 (EPE, 2011 e pelo Segundo Inventário Brasileiro (MCTI, 2010), foram atualizados em 2010 pela Nota Técnica EPE Versão 2.03 (de 25/10/2010) de forma que, no Decreto nº 7.390/2010, resultaram em estimativas de emissões um pouco diferentes daquelas apresentadas em 2009, na COP-15.

Esta última versão, que assumiu como base os estudos preparatórios do PDE 2020 (EPE, 2011), utilizou os fatores de emissão recomendados pelo IPCC para cada fonte energética e considerou as hipóteses básicas de crescimento demográfico e econômico anteriormente apresentadas, estimando assim, em 2020, que as emissões totais relacionadas à produção e ao uso da energia atingiriam 634 MtCO<sub>2</sub>-eq. Esta projeção, por ser inferior à meta estabelecida a partir da aplicação da “identidade de Kaya” (730 MtCO<sub>2</sub>-eq), constituiu mais um elemento a evidenciar que o cenário do plano decenal de expansão de energia era, efetivamente, um cenário de estabilização. Ou seja, as medidas mitigadoras que explícita ou implicitamente estão incorporadas nesse cenário evitarim, de fato, certa quantidade de emissões de GEE.

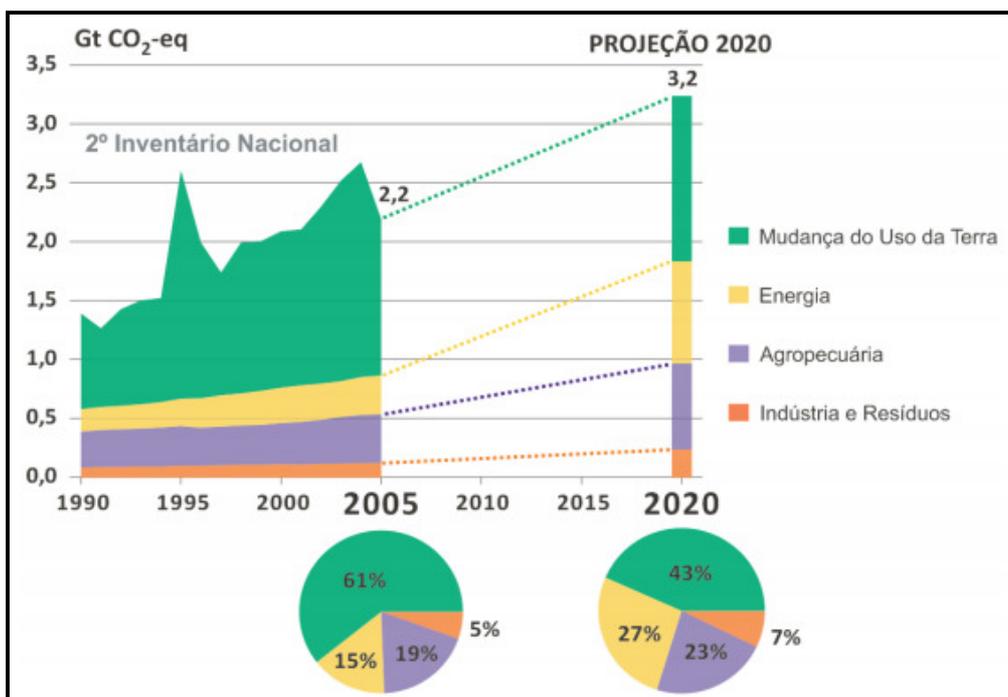
Dentre as diferenças que contribuíram para esta revisão dos resultados, destaca-se o aumento das emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) associado à diminuição das emissões do Setor de Energia devido à realocação de parte das emissões do setor siderúrgico, conforme as novas diretrizes do Guia IPCC 2006 para Inventários Nacionais (IPCC, 2006).

Outros ajustes foram feitos, tais como a diminuição das emissões da Agricultura pela redução das estimativas de emissão de N<sub>2</sub>O em solos agrícolas (novos fatores de emissão do IPCC e dados da Embrapa), a variação nas estimativas do setor de

Mudança do Uso da Terra e Florestas devido à inclusão de carbono das raízes e matéria orgânica morta e contabilização da remoção de CO<sub>2</sub> em unidades de conservação e terras indígenas, também seguindo-se as diretrizes do IPCC.

Desta forma, a projeção atualizada do total das emissões nacionais de GEE para o ano de 2020, tal como prevista no Decreto nº 7.390/2010, foi estimada em **3.236 MtCO<sub>2</sub>eq**, cabendo ao setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas a maior contribuição, seguido pelos setores de Energia e Agropecuária. No entanto, como elucidado a partir do Gráfico 26, que apresenta o compromisso nacional voluntário, verifica-se que as projeções para 2020 remetem o maior crescimento de participação ao Setor Energia, de 12 pontos percentuais, enquanto que Agropecuária e Indústria cresceriam 4 e 2 pontos percentuais, respectivamente. A participação do setor de Mudança do Uso da Terra cairia em 18 pontos percentuais, aproximadamente.

**Gráfico 26: Emissões brasileiras de CO<sub>2</sub>eq até 2005 com base no Segundo Inventário Brasileiro e projeções para 2020 pelo Decreto nº 7.390/2010**



Fonte: PR (2010) e MDIC (2012).

Do total de emissões projetadas para 2020, **868 MtCO<sub>2</sub>eq** (26,82%) competem ao Setor de Energia – valores aproximados. A projeção atualizada, foi legitimada pelo Decreto nº 7.390/2010, o qual regulamenta os arts. 6º, 11º e 12º da referida Lei. Neste mesmo Decreto, encontra-se explicitada em seu art. 5º, as projeções setoriais das emissões nacionais de GEE para o ano de 2020 de que trata o parágrafo único do art. 12º da Lei nº 12.187/09: (I) Mudança de Uso da Terra: 1.404 MtCO<sub>2</sub>eq; (II) Energia:

868 MtCO<sub>2</sub>eq; (III) Agropecuária: 730 MtCO<sub>2</sub>eq; e (IV) Processos Industriais e Tratamento de Resíduos: 234 MtCO<sub>2</sub>eq.

Este decreto afirma ainda (art. 6º) que, “para alcançar o compromisso nacional voluntário de que trata o art. 12 da Lei nº 12.187/09, serão implementadas ações que almejem reduzir entre 1.168 milhões de tCO<sub>2</sub>eq e 1.259 milhões de tCO<sub>2</sub>eq do total das emissões estimadas no art. 5º”. Dentre as medidas consideradas para efetivação desta redução, as principais se remetem ao Setor de Agricultura e Mudança do Uso do Solo (AFOLU), notadamente pela redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005.

Quanto ao Setor de Energia, estão previstas as seguintes ações:

- **Expansão da oferta de renováveis na produção de energia elétrica (\*)**, por meio de:
  - Hidroelétricas de grande porte;
  - Outras renováveis (pequenas centrais hidroelétricas - PCHs, centrais eólicas, térmicas a biomassa da cana - “bioeletricidade”).

*(\*) Não consideradas as emissões evitadas com geração nuclear (Angra III) e com a desativação de usinas a diesel como resultado da interligação de sistemas isolados.*

- Expansão da oferta de biocombustíveis (etanol e biodiesel), e;
- Incremento da eficiência energética seja na produção de energia elétrica ou pelo uso de combustíveis na indústria.

A quantificação das medidas para se atingir a meta de emissões evitadas de GEE em 2020, leva em consideração algumas diretrizes para cada uma das ações supracitadas:

- Expansão da oferta de renováveis na produção de energia elétrica:
  - ✓ Expansão em 34 mil MW do parque hidroelétrico;
  - ✓ Expansão em mais de 20 mil MW do parque de fontes alternativas (10.800 MW em eólicas).
- Expansão da oferta de biocombustíveis (etanol e biodiesel):
  - ✓ Oferta de mais de 77 bilhões de litros de etanol em 2020 (ampliação de 54,4 bilhões de litros);
  - ✓ Manter 5% de biodiesel na mistura do diesel consumido (3,9 bilhões de litros em 2020).

- Incremento da eficiência energética:
  - ✓ Manter e ampliar programas e iniciativas existentes de modo a reduzir, em 2020: 4,4% o consumo de energia elétrica (geração de 7.600 MW hidroelétricos) e 5,2% o consumo de combustíveis fósseis na indústria (194 mil bbl/dia).

Por sua vez, a oferta de energia para atender essa demanda considerou hipóteses determinísticas para a composição da matriz energética em um cenário no qual não ocorresse a execução das medidas de redução de emissões de GEE contidas no PDE. Considerou-se tal metodologia apropriada uma vez que o PDE pode ser entendido como um cenário de baixo carbono que inclui políticas e iniciativas que objetivam a mitigação de emissões (PR, 2010).

Nesta situação, a demanda de energia projetada para 2020 seria atendida por meio de fontes fósseis, que ampliariam as emissões projetadas em aproximadamente 234 MtCO<sub>2</sub>eq. Assim, a projeção das emissões de gases devidas à produção e ao uso da energia seria de cerca de 868 MtCO<sub>2</sub>eq em 2020.

Portanto, considerando-se como emissões a serem evitadas em 2020 o total de **234 MtCO<sub>2</sub>eq**, apresentam-se a seguir a subdivisão deste valor pelos respectivos das reduções previstas para cada uma das ações previstas no PDE 2020 (EPE, 2010), considerados ajustes com base no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2010):

- Expansão da oferta de renováveis na produção de energia elétrica:
  - ✓ Hidroelétricas: **80,7 MtCO<sub>2</sub>**
  - ✓ Outras renováveis: **43,3 MtCO<sub>2</sub>**
- Expansão da oferta de biocombustíveis (etanol e biodiesel): **73,7 MtCO<sub>2</sub>**
- Incremento da eficiência energética: **36,3 MtCO<sub>2</sub>**

#### 5.4. Comparação dos cenários de mitigação de emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> pelo JCM BR B2 e A1F (2°C e 450ppm) e da IEA (Novas Políticas e 450ppm) com o do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)

Completando a sequência de testes, este item objetiva confrontar as projeções de emissões decorrentes da produção e do uso de energia segundo a meta brasileira de emissões de GEE para 2020, com todas as estimativas relacionadas aos dois cenários de referência modelados (SRES BR B2, A1FI) e aos seis cenários de mitigação - sendo quatro modelados (JCM BR B2, A1FI => 2°C ou 450ppm) e dois provenientes da IEA (Novas Políticas e 450ppm), todos correspondendo às emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo (processo de queima) de combustíveis fósseis do Brasil.

Cabe salientar que as ações previstas a serem implementadas pelo Plano Setorial de Energia, que se conforma no Plano Decenal de Energia (PDE/EPE), possibilitarão que “a demanda de energia projetada para 2020 seja atendida por meio de fontes fósseis, que ampliariam as emissões projetadas em 234 MtCO<sub>2</sub>eq” – conforme descrito no Decreto nº 7.390/2010 (PR, 20210). Desta forma, todas as comparações são consideradas legítimas com relação à base de dados, uma vez que se valeu de todas as informações de combustíveis líquidos, sólidos e gasosos, com as devidas correspondências entre diferentes bases de dados.

Dado que a principal base de informações para a meta voluntária de energia foi o segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE (MCTI, 2010), para efeito comparativo desta projeção, além do período utilizado em todo o estudo, inclui-se também o ano de 2000, sendo consideradas as emissões respectivas do setor energia, tal como relatadas no Segundo Inventário.

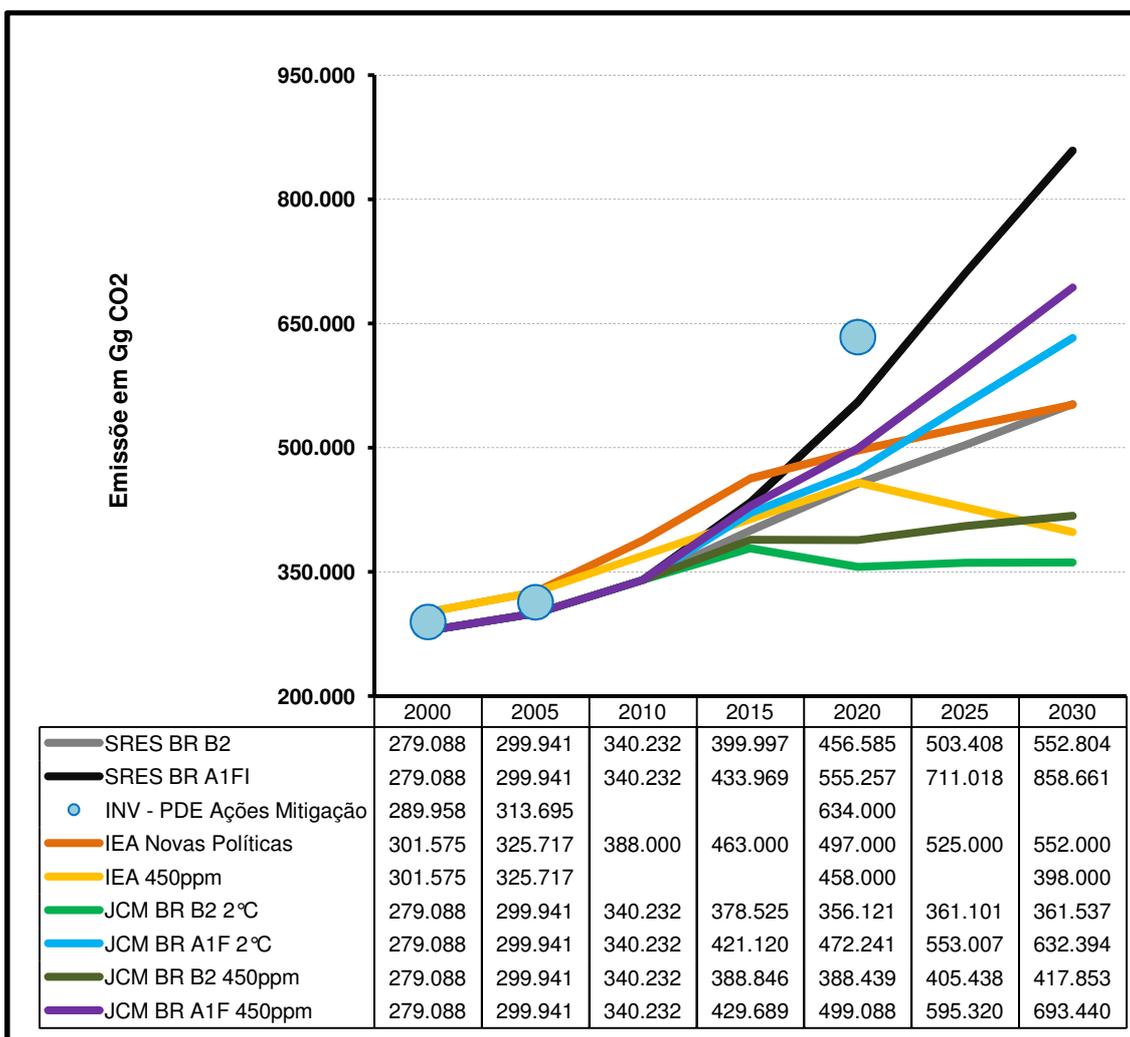
Como verificado pelo Gráfico 27, bem como nas análises anteriores concernentes às projeções de referência, os resultados dos cenários modelados pelo JCM para o Brasil são coerentes com outras fontes internacionais, sendo previstas algumas variações a diferenças de metodologia e quanto à base de dados de informações.

Observa-se, no entanto, que a meta voluntária brasileira estipula um limite máximo para as emissões provenientes de combustíveis fósseis, visando a atendimento das necessidades de consumo do país: **634 MtCO<sub>2</sub>eq**. Os três pontos referentes à curva que trata desta meta, coincidentes com os anos de 2000, 2005 e 2020, encontravam-se destacados em círculos hachurados de azul. Realizou-se também a conversão da unidade MtCO<sub>2</sub> para GgCO<sub>2</sub>, para padronização e devida

comparação de todos os resultados dos cenários. Afora os dados pertencentes aos anos pretéritos, comuns a todos os cenários rodados pelo JCM, por terem sido baseados na mesma fonte de dados (o Segundo Inventário), nenhuma curva, seja de referência, muito menos de mitigação, coincide com a meta brasileira no ano de 2020. Esta inclusive ficou acima de qualquer cenário de emissões, tanto da família B2, quanto da família A1FI, o que significou um fato surpresa.

A diferença percentual entre este limite de 634 MtCO<sub>2</sub>eq para os demais resultados, registrou seu valor máximo em 78% de discrepância com o Cenário JCM BR B2 2°C, o que computa os menores índices de emissão. Já a menor variação foi de 14,2% referindo-se ao cenário SRES BR A1FI, de referência e maior emissor. Ou seja, pelas projeções do modelo JCM, este limite de emissão ainda seria superior em pouco mais de 14% ao cenário mais intensivo em petróleo.

**Gráfico 27: Emissões brasileiras de GgCO<sub>2</sub> associadas ao consumo de combustíveis fósseis segundo projeções do JCM BR (B2 / 2°C e 450ppm & A1F 2°C e 450ppm), da IEA (Cenário de Novas Políticas e Cenário 450) e do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE / Plano Decenal de Energia (Cenário INV - PDE Ações de Mitigação) entre 2000 e 2030**



Fonte: EPE (2010), IEA, (2010 e 2010), MCT (2010) e PR (2010), com adaptação de PETROBRAS (2011).

Há de se considerar que este resultado poderia se dar por conta das variadas considerações metodológicas e diferenças no tratamento de dados que já foram comentados.

Por outro lado, cabe lembrar que em todos os cálculos realizados, seja para conversão de unidades ou mesmo para estimar emissões a fim de simplesmente testar os resultados do modelo JCM, procurou-se agir com rigor metodológico, bem como precisão matemática. Desta forma, atentou-se por conferir e utilizar os mesmos fatores (de conversão, de correção, de emissão, etc) priorizando a coleta de seus valores em fontes primárias legitimadas e que fossem de preferência, comuns àquelas utilizadas como referência. Teve-se também o cuidado de não trabalhar com valores

aproximados, o que poderia significar diferenças que pudessem prejudicar a precisão da análise ao final da sequência de cálculos. Mesmo que não fosse necessário em alguns casos, priorizou-se considerar pari-passo as recomendações metodológicas, como foi o caso da consideração nos cálculos de emissões a partir do Balanço Energético e do PNE, de se ter o cuidado de desconsiderar a parcela de carbono inoxidado para cada tipo de combustível.

Por fim, mesmo que se tenha primeiramente procurado testar o modelo JCM, confrontando-o com bases reconhecidas internacionalmente e que se valem de modelos complexos na estimativa de emissões, como é o caso da base CDIAC, não se pode considerar que o modelo Java Climate Model não incorra em erros ou seja tendencioso. Ao menos os testes realizados inicialmente não apreentaram qualquer vestígio desta possibilidade. Desta forma, considera-se importante que outros estudos sejam realizados utilizando-se outras ferramentas que possibilitem averiguar os resultados aferidos neste trabalho e contribuir para que o Plano Decenal de Energia, que se consolida como instrumento de grande importância para a política energética nacional, bem como o Plano Setorial de Energia e toda legislação relacionada aos compromissos firmados no âmbito do setor energético, possam contar com informações e técnicas que cada vez melhor traduzam a realidade e visionem com maior precisão o futuro.

Não obstante, deve-se comentar que a metodologia de cálculo da meta de emissão de energia, embora descrita por meio de diferentes notas técnicas, não é suficientemente clara quanto aos procedimentos lógicos das etapas de contas. Citam-se metodologias de maneira superficial e valores finais, mas não se apresentam a descrição dos cálculos e seus valores intermediários. Embora também sejam citadas fontes de informação e procedência de dados e fatores, também não se demonstram quais foram utilizados e qual o nível de aproximação. Por fim, pode-se verificar, por meio de diferentes notas técnicas, a discrepância dos resultados principais de emissões a serem mitigadas, embora estas inconsistências tenham sido salvaguardadas e justificadas em razão do uso de “dados preliminares” de respectivas fontes.

Um ponto a destacar é que o Decreto nº 7.390/2010 trata cada emissão a ser mitigada em dióxido de carbono equivalente, unidade padrão no decreto mesmo não o sendo no Segundo Inventário. Esta diferença é importante, já que poderia responder, ao menos parcialmente a possível “superestimação” da meta divulgada.

Neste sentido, procurando-se aproximar ao máximo deste resultado, salvo que não são explicitados quais os gases estufa considerados, nem mesmo cada segmento ou “rubrica” do Balanço Energético seria utilizada para a contabilização das emissões, resolveu-se considerar o total das emissões registradas para o setor energético como um todo conforme os dados do Segundo Inventário Brasileiro (MCTI, 2010), fonte utilizada como base nas notas técnicas e pelas publicações do PDE.

Como extrapolação, consideraram-se também todas as emissões fugitivas, seja de processo (mineração de carvão), seja nas atividades de extração, transporte, distribuição de petróleo e gás natural e/ou produção de derivados. Desta forma, a nova base de dados se constituiria de valores maiores do que o recomendado por diferentes metodologias veificadas ao longo do estudo.

Ademais, foram realizados para o ano de 2005 (ano base da meta) cálculos referentes às emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e metano (CH<sub>4</sub>), e de respectivas conversões para dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq), pefazendo-se assim o conjunto dos três principais gases estufa considerados pelo Protocolo de Kyoto e valendo-se da metodologia do Guia IPCC 2006 para confecção de Inventários Nacionais (IPCC, 2006). Isso porque, o governo brasileiro contesta a utilização do Potencial de Aquecimento Global (GWP da sigla em inglês para *Global Warming Potential*) para comparação de GEE. “A opção de agregar as emissões relatadas em unidades de CO<sub>2</sub>eq com o uso do GWP em um horizonte de tempo de 100 anos não foi adotada pelo Brasil, que relatou suas emissões apenas em unidades de massa de cada GEE, conforme apresentado no seu Inventário Inicial. Na visão do Brasil, o GWP não representa de forma adequada a contribuição relativa dos diferentes GEE à mudança do clima. O uso do GWP enfatiza sobremaneira, e de modo errôneo, a importância dos GEE com curtos períodos de permanência na atmosfera, como o metano” (MCTI, 2010).

Estas informações e cálculos apresentam-se a seguir:

⇒ Estimativa de emissões do Setor Energia, por gás estufa e a partir do Segundo Inventário Brasileiro (MCTI, 2010):

- Dióxido de carbono: **313.695 GgCO<sub>2</sub>**;
- Metano: **541 GgCH<sub>4</sub>**;
- Óxido Nitroso: **12,1 GgN<sub>2</sub>O**.

**Equação 9** - cálculo das emissões de metano (IPCC, 2006):  $EmissCH_4 * Fconv = EmissCO_2 eq$

$$541 \text{ GgCH}_4 * 21 = \mathbf{11.361 \text{ GgCO}_2 eq}$$

**Equação 10** - cálculo das emissões de óxido nitroso (IPCC, 2006):  $Emiss_{N_2O} * conv = Emiss_{CO_2eq}$

$$541 \text{ GgNO}_2 * 310 = \mathbf{3.751 \text{ GgCO}_2eq}$$

$$\Rightarrow 313.695 \text{ GgCO}_2 + 541 \text{ GgCH}_4 + 12,1 \text{ GgN}_2\text{O} = \mathbf{328.807 \text{ GgCO}_2eq}$$

Na sequência, este valor foi utilizado como base, em 2005, e inserido no JCM para ser modelado, conforme os parâmetros adotados para os cenários de referência SRES BR, a fim de se verificar o comportamento principalmente da curva SRES BR A1FI, a que ficou mais próxima da meta de emissão. Embora não fosse interferir na análise, os valores das emissões de 2000, também foram atualizados e convertidos para CO<sub>2</sub>eq correspondentemente aos resultados pelo Segundo Inventário.

Diante disso, apresenta-se pelo Gráfico 28, estes últimos resultados aferidos. Como os valores base foram alterados, inclusive metodologicamente (consideração de emissões antes não atribuídas à queima de combustíveis), resolveu-se diferenciá-los atribuindo-os as seguintes designações: Cenário “SRES BR B2 Energia” e “SRES BR A1FI Energia”. Todos os resultados consoantes o Cenário “INV – PDE Ações de Mitigação” foram mantidos (anos 2000, 2005 e 2020) seguindo-se as diretrizes originais das notas técnicas referentes.

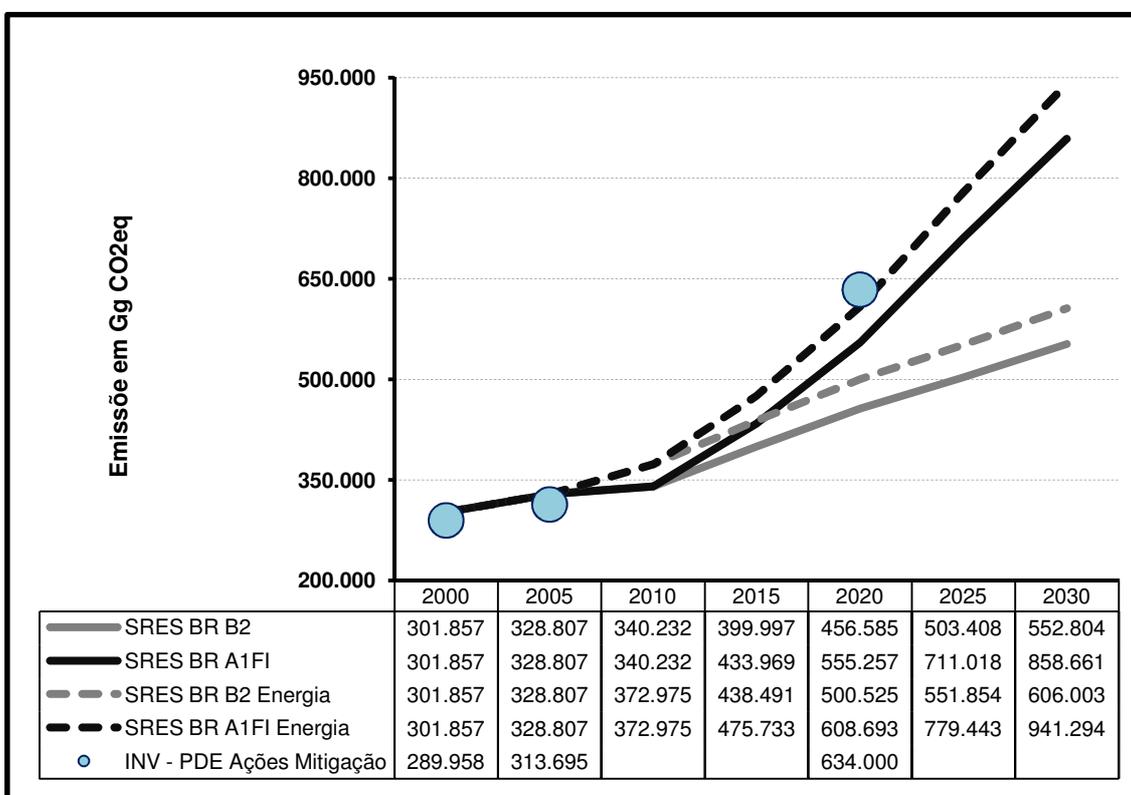
Observando-se os resultados, fica evidenciado que o Cenário SRES BR A1FI Energia (setas pontilhadas pretas) apresentou resultado bem próximo ao cenário de mitigação INV-PDE em 2020, diferença computada de apenas 4%, valor estatisticamente desprezível. Neste sentido, devido à consideração de outros gases esfufa além do dióxido de carbono, ajuste necessário para compatibilização das informações, considera-se o Cenário SRES BR A1FI Energia o cenário para o Brasil segundo o modelo JCM que mais condiz com a projeção da meta de redução de emissões para o setor energia.

Contudo, esta configuração atual do Brasil - que considera as negociações internacionais sobre mudanças climáticas e pelo previsto no Protocolo de Quioto, pelo qual, ele não faz parte do grupo de países Anexo 1, não possuindo, portanto, metas de redução de emissões de GEE a serem cumpridas - não foi mantida pelo modelo.

Um ponto relevante é que, ao se figurar como Cenário de Referência, a projeção da meta brasileira da produção/uso de energia deixa de efetivamente contribuir para o esforço global conquanto a estabilização de temperatura a 2°C e estabilização da concentração atmosférica em 450ppm de CO<sub>2</sub>eq. Além disso, mesmo que o Brasil consiga efetivamente cumprir com suas metas voluntárias em 2020, em virtude que o dilema atual das emissões nacionais concentrarem-se no setor de

Agricultura, Florestas e Mudança do Uso do Solo (AFOLU), tem de atentar para o fato de que o Setor Energia possui grandes chances de representar o “gargalo” futuro das emissões brasileiras, como apresentam alguns estudos, a exemplo do Banco Mundial (2010) e Mckinsey (2009), bem como pelas próprias perspectivas da configuração futura das emissões nacionais evidenciadas pelo Decreto nº 7.390/2010, conforme já discutido.

**Gráfico 28: Emissões barasileiras de GgCO<sub>2</sub>eq associadas ao consumo do setor energia segundo projeções do SRES BR (B2 Energia & A1F Energia) e do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE / Plano Decenal de Energia (Cenário INV - PDE Ações de Mitigação) entre 2000 e 2030**



Fonte: EPE (2010), MCT (2010) e PR (2010), com adaptação de PETROBRAS (2011).

## 6. CONCLUSÃO

No objetivo de traçar perspectivas de demanda por combustíveis, estimando as emissões deles provenientes, este estudo assumiu como ponto de partida as diretrizes do Relatório Especial de Cenários de Emissões (SRES) do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC).

O IPCC tem se valido de projeções de emissões de GEE e cenários climáticos, como um dos componentes principais para orientar a avaliação e pesquisa sobre a ciência das mudanças climáticas globais, bem como para mobilizar discussões e tomadas de decisão principalmente por parte de governos, visando a aplicação de políticas de adaptação e de mitigação que contribuam em alguma medida para uma reorientação do nível de emissões e concentração atmosférica de GEE.

Como instrumental, utilizou-se o modelo climático *Java Climate Model* (JCM), desenvolvido pelo climatologista inglês Ben Matthews. Testes empíricos foram realizados utilizando-se este modelo, confrontando-o com as bases de informações do prestigiado *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) dos Estados Unidos e, no contexto nacional com extrapolações a partir dos dados do Balanço Energético Nacional e do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE, valendo-se do *downscale* de cenários para o Brasil e a partir da macro-região ALM do SRES-IPCC.

Perante os vários exercícios realizados utilizando-se o modelo JCM, pode-se afirmar que se trata de uma ferramenta eficiente para projeção de emissões, sejam regionais e nacionais, de fácil aplicação e manuseio intuitivo que possibilitam a sua adoção mesmo por aqueles que não possuem experiência acumulada em modelagem. Para este trabalho, a aplicação do JCM possibilitou projetar as emissões do Brasil segundo diferentes fontes de dados nacionais e internacionais, modelando com relativa precisão seus respectivos resultados, que possibilitaram importantes conclusões sobre as trajetórias que o país poderá assumir quanto ao perfil de consumo energético.

Inicialmente foram comparadas os dados das emissões anuais de dióxido de carbono ( $GgCO_2$ ) relativas a combustíveis fósseis (líquidos, sólidos e gasosos) no Brasil segundo os bancos de dados CDIAC e JCM, entre os anos de 1990 e 2008, último disponível até então pelo CDIAC. O resultado foi bastante positivo, considerando-se que a maior variação computada foi de somente 2,4% e a variação percentual média de todo o período ficou próxima a 0,01% (equivalendo a apenas 298  $GgCO_2$ ), ou seja, valor considerado desprezível. Este fato demonstrou consistência quase total entre estas duas bases de dados com relação às emissões estimadas para

o Brasil, passando-se então para realização dos outros dois testes a fim de se verificar a precisão / calibragem do modelo.

Assim, foi realizada a comparação entre os mesmos dados de emissões brasileiras pelo CDIAC com os do Primeiro e Segundo Inventários Brasileiros (MCTI, 2006 e 2010, respectivamente) para os anos de 1990 a 2005, e do Balanço Energético Nacional, edição mais recente (EPE, 2012). As maiores dissonâncias ocorreram no Segundo Inventário, cujas diferenças se explicam, sobretudo, pelas emissões de combustíveis sólidos (principalmente coque de carvão mineral) não serem mais contabilizadas no Setor Energia e sim em IPPU (emissões referentes a processos industriais), procedimento atualizado devido à metodologia do Guia IPCC 2006 (IPCC, 2006) para construção de inventários nacionais. De outro modo, os resultados das emissões do Balanço Energético – calculadas utilizando-se metodologia deste Guia IPCC 2006, foram consideradas consistentes (diferença máxima de 6% para 1990), havendo inclusive a feliz coincidência de resultados em 2005. Desta forma, os resultados na média foram bastante positivos, confirmando a possibilidade de se avançar com a pesquisa.

Foram então modeladas as projeções de emissões de CO<sub>2</sub> a partir do Segundo Inventário Brasileiro para o ano de 2005, sendo este considerado como referencial nos trabalhos, primeiro por ser o mais recente que trata de resultados de emissões oficiais por parte do governo, segundo pelo fato de servir de referência para a meta voluntária brasileira assumida pelo Brasil, perante a UNFCCC, em 2009. No ano seguinte seria promulgada Lei nº 12.187/2010, pela qual seriam estipuladas as respectivas metas setoriais. Para a modelagem foram escolhidos dois cenários SRES, o B2 (de viés ambiental) e o A1FI (intensivo em fósseis), por terem sido considerados, após reavaliação das características dos quatro cenários marcadores e mais dois ilustrativos do SRES, como os mais próximos das tendências de futuro para o Brasil, sendo privilegiadas variáveis como crescimento demográfico, expectativa de vida, PIB, PIB *percapita*, dentre outras. São extremos entre si, porém não marginais.

Como no modelo JCM se valeria de variáveis *no-policy* relacionadas aos cenários SRES-IPCC, teve-se que escolher com qual região SRES se trabalharia: com uma das quatro macro-regiões, com dados mundiais, ou com os dois. Para se otimizar a pesquisa, optou-se por escolher trabalhar apenas com a Região ALM (África, América Latina e Oriente Médio), a mais próxima da realidade do Brasil, dado que no JCM os dados de entrada dos cenários são informados segundo quatro grandes regiões, as mesmas adotadas pelo SRES.

Além disso, dividiu-se toda a pesquisa de Cenarização em dois blocos, o primeiro tratando apenas dos “*SRES no-climate-policy-scenario*”, ou seja, Cenário de Referência em que não há interferência de políticas. Estes foram tratados através de hipóteses “*business-as-usual*” (BAU), considerando-se como fontes de projeções e comparações a *U.S. Energy Information Administration* (EIA), a *International Energy Agency* (IEA), o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões, o balanço Energético Nacional e o Plano Nacional de Energia 2030. O segundo bloco tratou apenas de cenários de mitigação de emissões, considerados pela IEA e o Decreto nº 7.390/2010 que descreve as metas de emissões a serem cumpridas pelo Brasil até 2020. Os cenários que em ambos os blocos foram extraídos do JCM para efeito de avaliação perante as outras fontes, consideraram como referência o consumo de combustíveis, ou seja, metodologia *bottom-up*, diferentemente do método aplicado na primeira fase para se projetar o consumo de combustíveis que se valeu de abordagem *top-down*.

Destaca-se que todo trabalho de projeções foi precedido por cálculos de conversão e correção em busca da homogeneidade das unidades de dados originados de diferentes fontes, fazendo-se também uma prévia compatibilização das listas de combustíveis adotadas por cada relatório e/ou fonte de informação, e todos os cálculos sendo balizados no ano de 2005, conferindo-se assim uma maior proximidade das projeções da configuração recente do país, tendo embutidos por traz da produção/consumo de combustíveis, muitas variáveis socioeconômicas, como renda, nível de consumo, etc. Os combustíveis foram avaliados caso a caso, tendo-se que para alguns se estimarem o consumo através de correlação com outras fontes de dados, pois em alguns casos seus valores são agrupados, ficando “invisíveis” para análise individual.

Quanto às projeções de emissões, os fatores considerados nos cálculos de emissões foram calculados e compatibilizados conforme as principais fontes de informação: o Guia do IPCC para Inventários Nacionais (IPCC, 2006) e o Balanço Energético Nacional mais atual (EPE, 2012). Consolidando toda a análise sobre emissões de GgCO<sub>2</sub> por combustíveis fósseis no Brasil conforme Cenários de Referência atribuídos por diferentes instituições nacionais e internacionais de renome, foram comparados os níveis de emissões anuais de combustíveis e trajetória das curvas correspondentes para cada um dos sete cenários BAU analisados, sendo dois modelados pelo JCM (SRES BR B2 e, SRES BR A1FI), três provenientes da Agência Internacional de Energia (EIA Referência, EAI Alta Petróleo e EIA Baixa Petróleo) e um da Agência de Administração e Informação dos Estados Unidos da América (IEA Políticas Atuais), além do PNE Referência da Empresa de Pesquisa Energética. Pela

configuração apresentada e pelos resultados anuais dos dados de emissão, observou-se que o único cenário que mais se aproximou do SRES BR B2 (viés ambiental) foi justamente o do PNE 2030 (EPE, 2008), considerado conservador. O IEA Políticas Atuais adotou um curso mediano entre os dois cenários SRES, e todos os três cenários EIA tenderam para o mais emissor (JCM BR A1FI).

Não obstante, salvo alguns comentários destoantes pelo relatório do PNE 2030 (EPE, 2008), o senso comum dos relatórios das agências internacionais é de que os combustíveis fósseis continuarão prevalecendo na matriz mundial, só que nas próximas décadas o aumento do consumo será puxado pelos países emergentes, principalmente China (carvão, gás natural e petróleo, nesta ordem), Índia (carvão mineral) e Rússia (gás natural). Quanto ao Brasil, a previsão é a mesma só que de forma menos intensiva dada a matriz bastante diversificada e o bom ingresso de renováveis (etanol e biodiesel).

No entanto, ambas as agências vêem o fator pré-sal como um impulsionador do consumo interno e promotor de exportações. Isso porque o setor nacional mais demandante de fósseis é o de transportes, cuja matriz nacional ainda é bastante desfavorável a modais que não o rodoviário. Estes relatórios foram unânimes em afirmar que o Brasil registraria aumento significativo do consumo de derivados fósseis, principalmente para atender o suprimento do setor de transportes, que vem demandando cada vez maiores volumes, sobretudo para transporte de carga no modal rodoviário, o mais ineficiente na relação consumo/carga transportada. De certa forma, estas e outras perspectivas acabaram por ser retratadas nos respectivos cenários.

Completando a sequência de testes, o segundo bloco confrontou as projeções de emissões decorrentes da produção e do uso de energia segundo a meta brasileira de emissões de GEE para 2020, com todas as estimativas novamente relacionadas aos dois cenários de referência modelados (SRES BR B2, A1FI) e aos seis cenários de mitigação - sendo quatro modelados (JCM BR B2, A1FI => 2°C ou 450ppm) e dois provenientes da IEA (Novas Políticas e 450ppm), todos correspondendo às emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo (processo de queima) de combustíveis fósseis do Brasil. Neste bloco foi considerada a necessidade de ações em prol da estabilização da temperatura global em 2°C, bem como a estabilização da concentração atmosférica em 450ppm.

Com relação às ações previstas a serem implementadas pelo Plano Setorial de Energia, que se conforma no Plano Decenal de Energia (PDE/EPE), estas que possibilitarão que “a demanda de energia projetada para 2020 seja atendida por meio

de fontes fósseis, que ampliariam as emissões projetadas em 234 MtCO<sub>2</sub>eq” – conforme descrito no Decreto nº 7.390/2010 (PR, 20210). Desta forma, todas as comparações foram consideradas legítimas com relação à base de dados, uma vez que se valeu de todas as informações de combustíveis líquidos, sólidos e gasosos, com as devidas correspondências entre diferentes bases de dados.

Como verificado em todas as análises concernentes às projeções de referência, os resultados dos cenários modelados pelo JCM para o Brasil são coerentes com outras fontes internacionais, sendo previstas algumas variações a diferenças de metodologia e quanto à base de dados de informações.

Dado que a meta voluntária brasileira estipula um limite máximo para as emissões provenientes de combustíveis fósseis, visando o atendimento das necessidades de consumo do país (**634 MtCO<sub>2</sub>eq**) observou-se, no entanto, que os únicos três pontos possíveis de se extrair da curva da meta brasileira, encontravam-se acompanhando a trajetória do Cenário SRES BR A1FI. A diferença percentual entre este limite de 634 MtCO<sub>2</sub>eq para os demais resultados, registrou a menor variação de 14,2% referindo-se ao cenário SRES BR A1FI, de referência e justamente o mais emissor. Ou seja, pelas projeções do modelo JCM o limite de emissões previsto pela meta voluntária ainda seria superior em pouco mais de 14% ao cenário mais intensivo em petróleo.

Mesmo sendo considerados problemas com aproximação, deve-se comentar que a metodologia de cálculo da meta de emissão de energia, embora descrita por meio de diferentes notas técnicas, não é suficientemente clara quanto aos procedimentos lógicos das etapas de contas. Citam-se metodologias de maneira superficial e valores finais, mas não se apresentam a descrição dos cálculos e seus valores intermediários. Embora também sejam citadas fontes de informação e procedência de dados e fatores, também não se demonstram quais foram utilizados e qual o nível de aproximação. Por fim, pode-se verificar, por meio de diferentes notas técnicas, a discrepância dos resultados principais de emissões a serem mitigadas, embora estas inconsistências tenham sido salvaguardadas e justificadas em razão do uso de “dados preliminares” de respectivas fontes.

Ao serem refeitos os cálculos, considerando-se CO<sub>2</sub> equivalente, ou seja, incorporando o metano e óxido nitroso, ficou evidenciado que o Cenário SRES BR A1FI Energia (que considerou todas as emissões do setor, inclusive as fugitivas) apresentou resultado bem próximo ao cenário de mitigação denominado INV-PDE em 2020, diferença computada de apenas 4%, valor estatisticamente desprezível. Neste

sentido, devido à consideração de outros gases estufa além do dióxido de carbono, considera-se o Cenário SRES BR A1FI Energia o cenário para o Brasil, segundo o modelo JCM, que mais condiz com a projeção da meta de redução de emissões para o setor energia.

Por fim, ao se figurar como Cenário de Referência, a projeção da meta brasileira da produção/uso de energia deixa de efetivamente contribuir para o esforço global conquanto a estabilização de temperatura a 2°C e estabilização da concentração atmosférica em 450ppm de CO<sub>2</sub>eq. Além disso, mesmo que o Brasil consiga efetivamente cumprir com suas metas voluntárias em 2020, em virtude que o dilema atual das emissões nacionais concentrarem-se no setor de Agricultura, Florestas e Mudança do Uso do Solo (AFOLU), tem de atentar para o fato de que o Setor Energia possui grandes chances de representar o “gargalo” futuro das emissões brasileiras, como apresentam alguns estudos, a exemplo do Banco Mundial (2010) e Mckinsey (2009), bem como pelas próprias perspectivas da configuração futura das emissões nacionais evidenciadas pelo Decreto nº 7.390/2010, conforme apresentado no trabalho.

Ademais, não se deve refutar a hipótese de que todas as bases de dados e cenários (de fontes nacionais e internacionais) utilizados para comparação com os resultados da meta brasileira de mitigação de GEE consoante o consumo setorial de energia, tenham se valido de informações que desconsideram os ajustes atribuídos na contabilização dos resultados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de GEE (MCTI, 2010), como a realocação das emissões de coque de petróleo para IPPU. A princípio, esta seria a única possibilidade que poderia aproximar a meta brasileira de emissões em energia para 2020 dos demais cenários considerados, ou mesmo, fazendo com que esta permanecesse abaixo.

Contudo, diante do conjunto de cenários modelados para o Brasil, proveniente de diferentes bases nacionais e internacionais, o indicativo pelos exercícios realizados por meio do JCM é de que a trajetória mais provável de se configurar para o país é a do cenário de referência, e também maior emissor (SRES BR A1FI). Por outro lado, como apresentado e verificado por diferentes suposições e formas de cálculo, o cenário representativo da meta brasileira de mitigação de emissões de produção/uso de energia corresponde a um cenário BAU, não sendo legitimado como cenário de mitigação nos exercícios desenvolvidos neste trabalho.

Desta forma, fica a recomendação e expectativa de que outros exercícios e modelos possam ser aplicados na intenção de ratificar estas proposições, contribuindo

assim para a confirmação ou aperfeiçoamento dos resultados contidos no Plano Decenal de Energia e, sobretudo, no Decreto nº 7.390/2010.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHÃO, C. C. L. *Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro*. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.
- ALCAMO, J., et al A. BOUWMAN, J. EDMONDS, A. GROBLER, T. MORITA, and A. SUGANDHY: *An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. In *Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- ALCAMO, J., et al. *An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. In: IPCC (Eds.), *Climate Change 1994*. Cambridge University Press, Cambridge. 1995
- \_\_\_\_\_. *Global modelling of environmental change: an overview of IMAGE 2.1*. In *Global change scenarios of the 21 st century. Results from the IMAGE 2.1 Model*. J. Alcamo, R. Leemans, E. Kreileman (eds.), Elsevier Science, Kidlington, Oxford, pp. 3-94. 1998.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). *Grupo dos Vinte (G-20)*. Consulta ao website oficial do Banco Central do Brasil. Disponível em <http://www.bcb.gov.br/?G20>
- BANCO MUNDIAL. *1999 World Development Indicators*. World Bank Group, Washington (DC), 1999.
- \_\_\_\_\_. *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Departamento de Desenvolvimento Sustentável. Região da América Latina e Caribe. World Bank Group, Washington (DC), 2010.
- BARRO, R.J., *Determinants of Economic Growth*. The MIT Press, Cambridge, 1997.
- In: MOSS, R., et al. *New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. IPCC, Geneva, 2008.
- CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER (CDIAC) BODEN et al. *National CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2008*. Serie, CDIAC, 2012.
- CCSP. *Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations*. In. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Bader D.C., C. Covey, W.J. Gutowski Jr., I.M. Held, K.E.

Kunkel, R.L. Miller, R.T. Tokmakian and M.H. Zhang (Authors)]. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., USA, 124 pp, 2008.

CENTER FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK (CIESIN). *The IPCC and scenario development*. Center of the U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) / Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Nasa, Columbia, 2012.

COSTA, Mário Vinicius. *Gargalos e Demandas da Infraestrutura Ferroviária e os Investimentos do PAC: Mapeamento Ipea de Obras Ferroviárias*. IPEA, Brasília, 2012.

DAVIS, G.R. Foreseeing a refracted future. *Scenario & Strategy Planning*, 1999.

DE JONG, A., and G. Zalm, 1991. *Scanning the Future: A long-term scenario study of the world economy 1990-2015*. In *Long-term Prospects of the World Economy*. OECD, Paris, pp. 27-74.

DE VRIES, B., J. Bollen, L. Bouwman, M. den Elzen, M. Janssen, and E. Kreileman,: *Greenhouse gas emissions in an equity-, environment-and service-oriented world: an IMAGE-based scenario for the next century*. *Technological Forecasting & Social Change*,63(2-3), 2000.

DE VRIES, B., M. Janssen, and A. Beusen. *Perspectives on global energy futures - simulations with the TIME model*. *Energy Policy*, núm. 27, págs. 477-494, 1999.

DE VRIES, H.J.M., J.G.J. Olivier, R.A. van den Wijngaart, G.J.J. Kreileman, and A.M.C. Toet. *Model for calculating regional energy use, industrial production and greenhouse gas emissions for evaluating global climate scenarios*. *Water, Air Soil Pollution*, núm. 76, págs. 79-131, 1994.

DEMENY, P. *Population*. In *The Earth As Transformed by Human Action*. B.L. Turner II et al., (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

DEN ELZEN et al. – *Evaluation of the Copenhagen Accord: Chances and Risks for the 2°C Climate Goal*. Netherlands Environmental Assessment Agency & Ecofys, Maio de 2010.

DENIS, Benjamin. *Lês monstres froids à l'épreuve du réchauffement de la planète: etats et acteurs transnationaux dans lê processus politique lié aux changements climatiques* Annuaire Français de Relations Internationales (AFRI). Centre Thucydide / Université Panthéon-Assas. Paris, 2003.

- DOMINGO CASSAIN SALES. *Simulações de downscaling dinâmico do clima presente sobre as américas tropicais*. Dissertação apresentada ao Curso do Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Físicas Aplicadas. Área de concentração: Ciências físicas aplicadas ao desenvolvimento do semi-árido. Orientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa, Fortaleza – Ceará, 2010.
- DURAND, J. D. *The modern expansion of the world population*. Proceedings of the American Philosophical Society 111 (3), pp 136-159. W.C, 1967.
- EDMONDS, J., M. WISE, and C. MACCRACKEN. *Advanced Energy Technologies and Climate Change: An Analysis Using the Global Change Assessment Model (GCAM)*, PNL-9798, UC-402. Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA 99352, 1994.
- EDMONDS, J., M. WISE, H. PITCHER, R. RICHELIS, T. WIGLEY, and C. MACCRACKEN. *An integrated assessment of climate change and the accelerated introduction of advanced energy technologies: An application of MiniCAM 1.0*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1(4), 311- 339, 1996a.
- EDMONDS, J., M. WISE, R. SANDS, R. BROWN, and H. KHESHGI. *Agriculture, land-use, and commercial biomass energy. A Preliminary integrated analysis of the potential role of Biomass Energy for Reducing Future Greenhouse Related Emissions*. PNNL-11155, Pacific Northwest National Laboratories, Washington, DC, 1996b.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030*. EPE / Ministério de Minas e Energia – MME Rio de Janeiro, 2007a.
- \_\_\_\_\_. *Informe à imprensa sobre o Plano Nacional de Energia – PNE 2030*. Empresa de Pesquisa Energética. Assessoria de Comunicação e Imprensa da Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Rio de Janeiro, 26 de junho de 2007b.
- \_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Energia 2030 / Combustíveis Líquidos (vol.10)*. EPE / Ministério de Minas e Energia – MME Rio de Janeiro, 2008a.
- \_\_\_\_\_. *Caderno Temático sobre Projeções do Plano Nacional de Energia 2030*. Empresa de Pesquisa Energética. EPE / Ministério de Minas e Energia (MME). Brasília, 2008b.

- \_\_\_\_\_. *Painel sobre o Plano Nacional de Energia 2030*. Apresentação realizada no Fórum Capixaba de Energia pela Diretoria de Estudos Econômicos e Energéticos da Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Vitória, 03 de junho de 2008c.
- \_\_\_\_\_. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2019* / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2009.
- \_\_\_\_\_. *Balanço Energético Nacional 2010*. Empresa de Pesquisa Energética. EPE / Ministério de Minas e Energia (MME). Brasília, 2010a.
- \_\_\_\_\_. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020* / Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2010b.
- \_\_\_\_\_. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. [EPE]: Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. *Balanço Energético Nacional 2012*. Empresa de Pesquisa Energética. EPE / Ministério de Minas e Energia (MME). Brasília, 2012.
- EVERS, M.; STAMPF, O.; TRAUFFETTER, G. – *A Superstorm for Global Warming Research*. Der Spiegel Online, publicado em 4 de Junho de 2010.
- FISHER, B.S., *et al.* *Issues related to mitigation in the long-term context*. In *Climate Changes 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, T. Dave, L.A. Meyer (eds)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2007.
- GIORGI, F. and MEARNES L. O. *Probability of regional climate change calculated using the Reliability Ensemble Averaging (REA) method*. *Geophysical Research Letters*, 30, 1629-1640, 2003.
- GIORGI, F., WHETTON P. H., JONES R. G., CHRISTENSEN J. H., MEARNES L.O., HEWITSON, B., VONSTORCH, H., FRANCISCO, R., JACK, C. *Emerging Patterns of Simulated Regional Climatic Changes for the 21st Century Due to Anthropogenic Forcings*. *Geophysical Research Letters*, 28, 3317-3320, 2001.
- GIROD, B, WIEK, A, MIEG, H and HULME, M. *The evolution of the IPCC's emissions scenarios*. *Environmental Science and Policy*, 12 (2). pp. 103-118. Elsevier. Amsterdam, 2009.

- GIROD, Bastien. *Why six baseline scenarios? A research on the reasons for the growing baseline uncertainty of the IPCC scenarios*. Environmental sciences ETH / Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, 2006.
- GRITSEVSKII A., GRUEBLER A., *The Scenario Generator: A Tool for Scenario Formulation and Model Linkages*, IIASA ECS, 1998.
- GRUBB, Michael; VROLIJK, Christian & BRACK, Duncan. *The Kyoto Protocol. A guide and Assessment*. Royal Institute of International Affairs / Earthscan. Londres, 1999.
- GRÜBLER, A. A review of global and regional sulfur emission scenarios. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3(2-4), 383-418. 1998.
- HAGEMANN et al - *Factors underpinning future action – Simple country fact sheets*, *Ecofys*. Dezembro de 2009. Disponível em [http://www.ecofys.com/com/publications/brochures\\_newsletters/documents/report\\_factors\\_underpinning\\_future\\_action-country\\_factsheets\\_2009\\_update.pdf](http://www.ecofys.com/com/publications/brochures_newsletters/documents/report_factors_underpinning_future_action-country_factsheets_2009_update.pdf). Acesso em 21 de Novembro de 2010.
- HANSEN, J. – *Global Warming 20 Years Later: Tipping Points Near*. Apresentação no National Press Club, Washington, D.C., EUA, em 23 de Junho de 2008
- HÖPPE, Peter & PIELKE, Roger. *Climate Change and Disaster Losses: Understanding and Attributing Trends and Projection*. Munich Reinsurance Company AG. Hohenkammer, 2006.
- HOVE, van den Sybille; LE MENESTREL, Marc & BETTIGNIES, Henri-Claude. *Should Business Influence the Science and Politics of Global Environmental Change? The Oil Industry and Climate Change*. INSEAD, 2001.
- HOVE, van den Sybille; LE MENESTREL, Marc & BETTIGNIES, Henri-Claude. *The oil industry and climate change: strategies and ethical dilemmas*. Climate Policy, 2002.
- HUIZENGA, C. & BAKKER, S. – *Applicability of post 2012 climate instruments in the transport sector*. Asian Development Bank & Interamerican Development Bank, Julho de 2010. Disponível em <http://www.transport2012.org/bridging/ressources/files/1/921,Application-of-post-2012-climate-ins.pdf>. Acesso em 20 de Dezembro de 2010.
- HULME, M., T. JIANG, and T. WIGLEY. 1995. SCENGEN: *A Climate Change SCENario GENerator: Software User Manual, Version 1.0*. Climate Change

Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 38pp.

INSTITUTO VIRTUAL INTERNACIONAL DE MUDANÇAS GLOBAIS (IVIG/SCE). *Contribuições históricas brasileiras das emissões de GEE, concentrações e mudança do clima do setor de energia e mudança do uso da terra*. Relatório de projeto IVIG/COPPETEC/UFRJ: 4601, IVIG, Rio de Janeiro, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). In: Houghton, J.T., Jenkins, G.J., Ephraums, J.J. (Eds.), *Climate Change The IPCC Scientific Assessment*. IPCC: Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

\_\_\_\_\_. *Emission scenarios for IPCC: an update*. In: Leggett, J., Pepper, W.J., Swart, R.J. (Eds.), *Climate Change—The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 1992b.

\_\_\_\_\_. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC, Bracknell, London, 1995a.

\_\_\_\_\_. In: Nakicenovic, N., Swart, R. (Eds.), *Special report on emissions scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, 1995b.

\_\_\_\_\_. *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. - JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Treanton, I Mamaty, Y Bonduki, DJ Griggs and BA Callender (Eds) IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological Office, Bracknell. 1996.

\_\_\_\_\_. In: Metz, B., Davidson, O., Swart, R., Pan, J. (Eds.), *Third Assessment Report: Climate Change 2001 - mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

\_\_\_\_\_. *IPCC Special Report Emissions Scenarios: a special report of IPCC Working Group III*. IPCC, Cambridge University Press. Cambridge, 2000.

\_\_\_\_\_. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006: prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Autores responsáveis: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Kanagawa, 2006a.

\_\_\_\_\_. *Principles Governing IPCC Work*. IPCC, Genebra, 2006b.

\_\_\_\_\_. *Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*, 2007a.

- \_\_\_\_\_. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007b.
- \_\_\_\_\_. *General Guideline on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment*. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGICA), 66 pp. 2007c.
- \_\_\_\_\_. In: MOSS, R., et al. *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. IPCC, Geneva, 2008.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook (WEO) 2008*. OECD/IEA, Paris, 2008.
- \_\_\_\_\_. *World Energy Outlook (WEO) 2010*. OECD/IEA, Paris, 2010.
- \_\_\_\_\_. *World Energy Outlook (WEO) 2012*. OECD/IEA, Paris, 2012.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (IISD). *Report of the ad hoc group on the Berlin mandate*. Earth Negotiations Bulletin, v. 12, n. 22. Winnipeg, agosto de 1995.
- J. LEGGETT, W.J et al. *Emissions Scenarios for the IPCC: an Update, Climate Change 1992: The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, UK, pp. 68-95, 1992.
- JEFFERSON, M. *Economic uncertainty and business decision-making*. In *Beyond Positive Economics?* J. Wiseman (ed.), Macmillan Press, London, 1983.
- JONES, R., NOGUER, M., HASSELL, D., HUDSON, D., WILSON, S., JENKINS G., MITCHELL, J. *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*. Met Office Hadley Centre, Exeter UK, 40 pp, 2004.
- KLABIN, Israel. *O mecanismo de desenvolvimento limpo e as oportunidades brasileiras*. Parcerias Estratégicas, n. 9. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Brasília – DF, 2000.
- LASHOF, D., and TIRPAK, D.A. *Policy Options for Stabilizing Global Climate*. 21P-2003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington (D.C.), 1990.

- LE MENESTREL, Marc. *Economic Rationality and Ethical Behavior: Ethical Business between Venality and Sacrific*. Business Ethics: A European Review, 2002.
- LEGGETT, J. *The carbon war: dispatches from the end of the oil century*. Londres, 1999.
- LEPORACE, Camila. *Saiba o que são biocombustíveis de segunda geração*. Opinião e notícia, 19 de dezembro de 2007. (disponível em <http://opiniaoenoticia.com.br/>)
- LEVY, David & KOLK, Ans. *Strategic responses to global climate change: Conflicting pressures on multinationals in the oil industry*. Business & Politics, v. 4, n. 3, p. 275-300. Berkeley, 2002.
- LEWIS, P. *U.S. industries oppose emission proposals*. New York Times, 22 de agosto de 1995. Disponível em: <http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?res=990CE2DC1331F931A1575BC0A963958260>
- LINDEN, E. *The Winds of Change: Climate, Weather, and the Destruction of Civilizations*. Simon and Schuster. Nova Iorque, 2006.
- LIVESEY, Sharon M. *Eco-identity as Discursive Struggle: Royal Dutch Shell, Brent Spar, and Nigeria*. The Journal of Business Communication, n. 38, p. 58-91, 2001. Disponível em: <http://job.sagepub.com/cgi/content/abstract/38/1/58>
- LOGAN, Andrew & GROSSMAN, David. *ExxonMobil's Corporate Governance on*
- LUTZ, W. (ed.). *The Future Population of the World: What can we assume today? 2 nd Edition*. Earthscan Publication Ltd, 500 pp., London, 1996.
- MANNE, A., and L. SCHRATTENHOLZER. *International Energy Workshop January 1996 Poll Edition*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 1996.
- \_\_\_\_\_. *International Energy Workshop, Part I: Overview of Poll Responses, Part II: Frequency Distributions, Part III: Individual Poll Responses*, February, 1997, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 1997.
- MANNE, A.S., R. MENDELSON, and R. RICHEL. *MERGE - A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies*. Energy Policy, 23(1):17-34, 1995.
- MATTHEWS, B. J. H. *Java Climate Model*. Modelo com código fonte aberto. JCM – versão 5.0, de 11 de junho de 2011. Disponível em <http://chooseclimate.org/> ou em <http://jcm.climatemodel.info/>

- MARENGO, José A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Série Biodiversidade, v. 26, 212 p. MMA, Brasília, 2006.
- MCKINSEY & COMPANY. *Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil*. McKinsey & Company. São Paulo, 2009.
- MEINSHAUSEN, M. - *What Does a 2°C Target Mean for Greenhouse Gas Concentrations? A Brief Analysis Based on Multi-Gas Emission Pathways and Several Climate Sensitivity Uncertainty Estimates*. In: Schellnhuber, H. et al. (eds.) – *Avoiding Dangerous Climate Change*. Seção VI. Cambridge, Reino Unido, 2006.
- MEIRA FILHO, L.G. e MACEDO, I. *Etanol e mudança do clima: a contribuição para o PNMC e as metas para o pós-Kyoto*. Versão preliminar (19p.). Disponível em [http://www.unica.com.br/downloads/estudosmatrizenergetica/pdf/Matriz\\_Clima\\_Macedo3.pdf](http://www.unica.com.br/downloads/estudosmatrizenergetica/pdf/Matriz_Clima_Macedo3.pdf)>. Única, São Paulo, 2009. Acesso em janeiro de 2013.
- MESSNER, S., and M. STRUBEGGER, *User's Guide for MESSAGE III. WP-95- 69*, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 1995.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima & Segundo Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. Vol. I. Brasília (DF), 2010.
- \_\_\_\_\_. *Primeira Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. MCT. Brasília (DF), 2006.
- \_\_\_\_\_. *Protocolo de Quioto*. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) com o apoio do Ministério das Relações Exteriores (MRE) da República Federativa do Brasil. Brasília (DF), 1997.
- \_\_\_\_\_. *Primeiro Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. Vol. I. Brasília (DF), 2004.
- \_\_\_\_\_. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima do MCTI. Brasília (DF), 2010.

- \_\_\_\_\_. *Segundo Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. Vol. I. Brasília (DF), 2010.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). *Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação*. Versão pré-liminar disponibilizada para consulta pública. MDIC, Brasília (DF), 2012.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Plano Nacional de Mudanças Climáticas – PNMC*. 2008. MMA / Governo Brasileiro. Brasília (DF), 2008.
- \_\_\_\_\_. *Cenários para Oferta Brasileira de Mitigação de Emissões*. MMA, São Paulo, 13 de novembro de 2009. Disponível em [http://ecen.com/eee75/eee75p/metas\\_gee\\_brasil.htm](http://ecen.com/eee75/eee75p/metas_gee_brasil.htm)
- \_\_\_\_\_. *Brazil's Contribution to Climate Change Mitigation*. Governo Brasileiro. Brasília (DF), 2009.
- \_\_\_\_\_. *Brazil's Contribution to Climate Change Mitigation. Brazilian Government*. Brasília (DF), 2009.
- \_\_\_\_\_. *“Por Dentro do Brasil”*. Disponível em: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br) - consultado em março 2011.
- MORI, S., and M. TAKAHASHI. *An integrated assessment model for the evaluation of new energy technologies and food productivity*. *International Journal of Global Energy Issues*, 11(1-4), 1-18. 1999.
- MORI, S., *The development of greenhouse gas emissions scenarios using an extension of the MARIA model for the assessment of resource and energy technologies*. *Technological Forecasting & Social Change*, 63(2-3). (In press). 2000
- MORITA, T., 1999. IPCC SRES database, version 3. *Center for Global Environmental Research (CGER)*, <http://www.cger.nies.go.jp/scenario/index.html> (acesso em 20 de novembro de 2011).
- MORITA, T., and H.-C. Lee. *Appendix to Emissions Scenarios Database and Review of Scenarios*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3(2-4), 121-131, 1998.

- MORITA, Y., Y. MATSUOKA, M. KAINUMA, and H. HARASAWA. *AIM - Asian Pacific integrated model for evaluating policy options to reduce GHG emissions and global warming impacts*. In *Global Warming Issues in Asia*. S. Bhattacharya et al. (eds.), AIT, Bangkok, pp. 254-27, 1994.
- MUYLAERT, Maria Silvia (coord.) *Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta*. Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG/COPPE/UFRJ). Rio de Janeiro, 1999.
- NAKIC´ENOVIC´, N., N. VICTOR, & T. MORITA, *Emissions scenarios database and review of scenarios*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1998.
- NAKIC´ENOVIC´, GRUEBLER N., & MCDONALD A., A., (Eds.), *Global Energy Perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- NAKIC´ENOVIC´, GRUEBLER N. et al. *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2000.
- OLIVEIRA, S. M. B. *Base científica para a compreensão do aquecimento global*. In: VEIGA, José Eli da (org.). *Aquecimento global: frias contendas científicas*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008.
- PARIKH, J.K.. *IPCC strategies unfair to the south*. Nature, 360, 507-508, 1992.
- PEPPER, W.J., BARBOUR, W., Sankovski, A., and Braaz, B. *No-policy greenhouse gas emission scenarios: revisiting IPCC 1992*. *Environmental Science & Policy*, 1, 289-312 pp., 1998.
- PETRÓLEO BRASILEIRO S/A (PETROBRAS). *Termo de Referência do Projeto "Avaliação dos impactos de cenários das políticas de mitigação das mudanças climáticas no Setor de Petróleo e Gás no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro" - REDE TEMÁTICA Mudanças Climáticas*. Petrobras & IVIG/Coppe/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.
- \_\_\_\_\_. *Relatório Final do Projeto "Avaliação dos impactos de cenários das políticas de mitigação das mudanças climáticas no Setor de Petróleo e Gás no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro" - REDE TEMÁTICA Mudanças Climáticas*. Petrobras & IVIG/Coppe/UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

PEW CENTER. *Targets and Actions under Copenhagen Accord*. Disponível em <http://www.pewclimate.org/docUploads/targets-and-actions-copenhagen-accord-05-24-2010.pdf>. Acesso em 22 de Março de 2011.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL (PR). *LEI Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 - "Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências"*. Casa Civil da Presidência da República - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília (DF), 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm) (acessado em 17 de janeiro de 2012)

\_\_\_\_\_. *DECRETO Nº 3.515, de 20 de junho de 2000 - Cria o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas e dá outras providências*. Casa Civil da Presidência da República - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília (DF), 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3515.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3515.htm) (acesso em 30 de janeiro de 2012)

\_\_\_\_\_. *Decreto Nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010 - Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC*. Casa Civil da Presidência da República - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília (DF), 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm). (acesso em 30 de janeiro de 2012)

\_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC)*. Comitê Interministerial de Mudanças Climáticas (CIM) / Casa Civil da Presidência da República. Brasília- DF, 2008.

PRICEWATERHOUSECOOPERS (PWC). *Too late for two degrees? Low carbon economy index 2012*. PWC, Londres, 2012.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (UNEP): *The Emissions Gap Report: Are the Copenhagen Accord Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2°C or 1.5°C?* Novembro de 2010. Disponível em <http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport/>. Acesso em 15 de Janeiro de 2011.

RANDALL, D.A., et al. *Climate Models and Their Evaluation*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor

- and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- RASKIN, P., Monks, F., Riberio, T., Vuuren, D.v., Zurek, M.. *Global scenarios in historical perspective. In: Carpenter, S.R., Pingali, P.L., Bennett, E.M., Zurek, M.B. (Eds.), Ecosystems and Human Well-being, Scenarios: Findings of the Scenarios Working Group (Millennium Ecosystem Assessment Series). Island Press, WA, 2005.*
- RIAHI, K., and R.A. Roehrl, *Greenhouse gas emissions in a dynamics-as-usual scenario of economic and energy development. Technological Forecasting & Social Change*, 63(2-3). (In press). 2000.
- ROSA, Luiz Pinguelli & RIBEIRO, Suzana Kahn. *The present, past and future contributions to global warming of CO<sub>2</sub> emissions from fuels. Climate Change*, vol. 48(2-3): 289-308 pp., 2001.
- SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; MACHADO, G. V. (coords.). *A Matriz Energética Brasileira 2003-2023. Relatório final. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.*
- SCHAFFER, R., SZKLO, A. S. e MACHADO, G. V. (coords.). *A Matriz Energética Brasileira 2003-2023. Relatório final. Rio de Janeiro: MME, 2004.*
- SEQUINEL, Maria Carmen Mattana. *Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável - Joanesburgo: entre o sonho e o possível. Análise Conjuntural*, v. 24, n.11-12. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). Curitiba, 2002.
- SEROA DA MOTTA, R., Hargrave, J., Luedemann, G., *As metas do Acordo de Copenhague e as decisões de Cancun. Em: Seroa da Motta et al (EDITORES). Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília: IPEA, 2011.*
- SKJAERSETH, Jon Birger & SKODVIN, Tora. *Climate change and the oil industry: common problem, varying strategies. Issues in environmental politics*, Manchester University Press. Manchester, 2003.
- SUERDIECK, Sidnei Silva. *Estágio recente e fundamentos do Regime Internacional de Mudanças Climáticas: abrindo a "caixa-preta" nas siglas do efeito estufa. Conjuntura & Planejamento*, n. 98, p. 29-35. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Salvador, 2002.

TOLMASQUIM, Mauricio & GUERREIRO, Amilcar. *Abatimento das emissões relacionadas à produção e ao uso da energia no Brasil até 2020*. Nota Técnica EPE Versão 1.0 (de 05/10/2009) EPE, 2009.

\_\_\_\_\_. *Abatimento das emissões relacionadas à produção e ao uso da energia no Brasil até 2020*. Nota Técnica EPE Versão 2.03 (de 25/10/2010) EPE, 2010.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). *International Energy Outlook 2010*. EIA, Washington, DC. 2010

\_\_\_\_\_. *International Energy Outlook 2011*. EIA, Washington, DC. 2011

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *Text of the Convention*. United Nations. Nova York, 1992. Disponível em <http://unfccc.int>

\_\_\_\_\_. United Nations Framework Convention on Climate Change. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. FCCC/CP/L7/Add.1, 10 December 1997, UN, New York, NY, 1997.

UNITED NATIONS. *2009 Energy Statistics Yearbook*. United Nations Department for Economic and Social Information and Policy Analysis, Statistics Division, New York, 2012.

URQUÍA, Javier Rubio. *Las Negociaciones Internacionales sobre Cambio Climático*. Información Comercial Española, Revista de Economía, n. 822. Madri, 2005.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Policy Options for Stabilizing Global Climate*. Report to Congress. Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency, 1990.

VIOLA, Eduardo. *As Complexas Negociações Internacionais Para Atenuar as Mudanças Climáticas*. In TRIGUEIRO, André. *Meio Ambiente no Século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento*. Sextante, p. 183-198. Rio de Janeiro, 2003.

WEYANT, J.P. 1993: *Costs of reducing global carbon emissions*. Journal of Economic Perspectives, 7(4), 7-46.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) / UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *Conference Proceedings - The Changing Atmosphere: Implications for Global Security*. WMO, Toronto, 1988.

WORLD ENERGY COUNCIL (WEC) - *European Climate Change Policy beyond 2012*.  
Londres, Reino Unido, 2009.

YERGIN, Daniel . *O petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder*. (Do original *The prize: the epic quest for oil, money and power*, tradução de Leila M. U. Di Natale, Maria Cristina Guimarães & Maria C. L. de Góes). Scritta, São Paulo, 1993.

**Sítios visitados:**

[www.climate.be/jcm](http://www.climate.be/jcm)

<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/emissions/bra.dat>

<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/emissions/bra.dat>

<http://sedac.ciesin.org/mva/>

[http://sres.ciesin.org/OpenProcess/htmls/Model\\_Descriptions.html](http://sres.ciesin.org/OpenProcess/htmls/Model_Descriptions.html)

<http://www.epe.gov.br/>

<http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/>

<http://www.ipcc.ch/>

<http://www.mct.gov.br/>

<http://www.mme.gov.br/>

[http://www.mnp.nl/en/themasites/image/model\\_details/index.html](http://www.mnp.nl/en/themasites/image/model_details/index.html)

## **ANEXOS**

### Anexo 1: Relação de países segundo macro-regiões do SRES

Região OECD90		Região Ásia	
<b><i>América do Norte</i></b>		<b><i>Ásia Central e China</i></b>	
Canadá	Estados Unido da América	Camboja	Laos (PDR)
Guam	Ilhas Virgens	China	Mongólia
Porto Rico		Hong Kong	Vietname
		Coréia (DPR)	
<b><i>Oeste da Europa</i></b>		<b><i>Sul da Ásia</i></b>	
Andorra	Irlanda	Afeganistão	Maldivas
Áustria	Ilha de Man	Bangladesh	Nepal
Açores	Itália	Butão	Paquistão
Bélgica	Principado de Liechtenstein	Índia	Sri Lanka
Ilhas Canárias	Luxemburgo	<b><i>Outros da Ásia e Pacífico</i></b>	
Ilhas do Canal	Madeira	Ilhas Samoa	Filipinas
Chipre	Malta	Brunei	República da Coreia
Dinamarca	Mônaco	Fiji	Singapura
Ilhas Feroe	Holanda	Polinésia Francesa	Ilhas Salomão
Finlândia	Noruega	Gilbert-Kiribati	Taiwan
França	Portugal	Indonésia	Tailândia
Alemanha	Espanha	Malásia	Tonga
Gibraltar	Suécia	Myanmar	Vanuatu
Grécia	Suíça	Nova Caledónia	Samoa Oeste
Groelândia	Turquia	Papua Nova Guiné	
Islândia			
<b><i>Pacífico</i></b>			
Austrália	Nova Zelândia		
Japão			

Fonte: SRES (2000).

**Anexo 1: Relação de países segundo macro-regiões do SRES (continuação)**

<b>Região REF</b>		<b>Região ALM</b>	
<i>Europa Central e Oriental</i>		<i>Oriente Médio e Norte da África</i>	
Albânia	Hungria	Argélia	Marrocos
Bósnia and Herzegovina	Polônia	Bahrein	Omã
Bulgária	Romênia	Egito	Qatar
Croácia	República Eslováquia	Iraque	Arábia Saudita
República Theca	Eslovênia	Irã	Sudão
Iugoslávia		Israel	Síria
República da Macedônia		Jordânia	Tunísia
<b>Novos estados independentes (ex-URSS)</b>		Kuwait	Emirados Árabes Unidos
Armênia	Lituânia	Líbano	Yemen
Azerbaijão	República de Moldova	Líbia	
Belarus	Federação Russa	<b>América Latina e Caribe</b>	
Estônia	Tajiquistão	Antígua e Barbuda	Guatemala
Geórgia	Turquemenistão	Argentina	Guiana
Kazaquistão	Ucrânia	Bahamas	Haití
Quirguistão	Ubequistão	Barbados	Honduras
Letônia		Belize	Jamaica
<b>África Sub-Saariana</b>		Bermuda	Martinica
Angola	Madagascar	Bolívia	México
Benin	Malawi	Brasil	Antilhas Holandesas
Botswana	Mali	Chile	Nicarágua
British Indian Ocean Territory	Mauritânia	Colômbia	Panamá
Burkina Faso	Mauritius	Costa Rica	Paraguai
Burundi	Moçambique	Cuba	Perú
Camarões	Namíbia	Dominica	São Cristóvão e Nevis
Cabo Verde	Níger	República Dominicana	Santa Lúcia
República da A. Central	Nigéria	Equador	São Vicente e Granada
Chade	Reunion	El Salvador	Suriname
Comores	Ruanda	Guiana Francesa	Trinidad e Tobago
Costa do Marfim	São Tomé e Príncipe	Granada	Uruguai
Congo	Senegal	Guadaloupe	Venezuela
Jibuti	Seychelles		
Guiné Equatorial	Serra Leoa		
Eritreia	Somália		
Etiópia	África do Sul		
Gabão	Santa Helena		
Gâmbia	Swaziland		
Ghana	Tanzânia		
Guiné	Togo		
Guiné-Bissau	Uganda		
Quênia	Zaire		
Reino de Lesoto	Zâmbia		
Libéria	Zimbábue		

Fonte: SRES (2000).