

Aline Souza Magalhães

**Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de
políticas e custos de redução de emissões de gases de
efeito estufa**

Belo Horizonte, MG

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional

Faculdade de Ciências Econômicas - UFMG

2013

Ficha Catalográfica

M188e
2013

Magalhães, Aline Souza.
Economia de baixo carbono no Brasil [manuscrito] : alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa / Aline Souza Magalhães. – 2013.
293 f. : il., gráfs. e tabs.

Orientador: Edson Paulo Domingues.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

Inclui bibliografia (f. 244-261).

1. Meio ambiente – Brasil – Teses. 2. Economia – Brasil – Aspectos ambientais – Teses. 3. Efeito estufa. 4. Brasil – Aspectos ambientais – Teses. I. Domingues, Edson Paulo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. III. Título.

CDD: 363.7

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG – NMM012/2014

Aline Souza Magalhães

**Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de
políticas e custos de redução de emissões de gases de
efeito estufa**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Economia
do Centro de Desenvolvimento e Planejamento
Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da
Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do Título de Doutora em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Paulo Domingues

Belo Horizonte, MG
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional
Faculdade de Ciências Econômicas - UFMG

2013

Folha de Aprovação

Aline Souza Magalhães

**Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de
políticas e custos de redução de emissões de gases de
efeito estufa**

Tese apresentada ao curso de doutorado do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora em Economia.

Prof. Dr. Edson Paulo Domingues - Orientador

Prof. Phd Geoffrey J. D. Hewings - University of Illinois at Urbana - Champaign (Estados Unidos)

Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel - Fundação Getúlio Vargas (São Paulo)

Prof. Dr. Bernardo Palhares Campolina Diniz - Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Bruno de Paula Rocha - Universidade Federal de Minas Gerais

*O que a memória ama, fica eterno. Te amo com a
memória, imperecível.*

Adélia Prado

Dedico a você, pai, esta tese.

Resumo

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio-ambiente e que tem tomado novas dimensões, seja na magnitude, na escala geográfica ou na variedade de atores políticos envolvidos, são as mudanças climáticas originadas pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Os países em desenvolvimento aumentaram a sua importância como emissores de GEE e têm sido chamados a se posicionarem em relação à mitigação da mudança climática.

O Brasil já deu um primeiro passo neste sentido nas conferências em Copenhague e em Cancun, ao confirmar metas nacionais voluntárias de redução de GEE. No caso brasileiro, as autoridades têm apontado para o controle do desflorestamento como a principal proposta do país para reduções de emissões de GEE. Deve-se ressaltar, no entanto, que conforme apontam as estimativas mais recentes de queda na taxa de desmatamento e, por conseguinte das emissões associadas à mudança no uso da terra (INPE, 2012), é provável que nos próximos anos, a participação desta fonte de emissões se reduza consideravelmente, deixando de ser considerada a principal fonte de emissões de GEE no Brasil. Não se pode esquecer, portanto, do papel relevante que assume as emissões derivadas do uso de combustíveis e de processos produtivos. Essa importância é intensificada em razão, sobretudo, das tendências de aumento das emissões do setor energético, de transporte (principalmente em relação ao uso do diesel), refino de petróleo e do setor industrial. Como os outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as emissões de GEE, em busca de uma economia de baixo carbono. Esta tese tem por objetivo estudar alternativas de políticas climáticas de redução de emissões, que nos últimos tempos tem ganhado proeminência no cenário internacional, como as políticas de precificação de carbono (impostos, mercado de carbono) e de melhoria da eficiência energética; e os custos inerentes a estas políticas. Existem muitos exemplos de políticas nacionais já em funcionamento que podem servir de exemplo para a proposição de esquemas semelhantes no Brasil.

Em termos metodológicos, avança-se ao desenvolver um modelo aplicado de equilíbrio geral, dinâmico-recursivo, com elevado detalhamento do setor energético e do uso de combustíveis, além de um módulo ambiental, especialmente capacitado para a análise de políticas de redução de GEE na economia brasileira. Com este modelo analisa-se o impacto de diferentes metas de redução de emissões e o papel do aumento da eficiência energética.

No caso brasileiro, os resultados apontam que metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”. Os resultados apontados pela política de melhoria da eficiência energética, por seu turno, são promissores. Com a elevação da eficiência energética a economia passa a crescer mais, reduzindo suas emissões de GEE, mesmo considerando alguns de seus custos.

Low carbon economy in Brazil: policy alternatives and costs of reducing emissions of greenhouse gases

Abstract

One of the most discussed effects of economic activity on the environment is climate change caused by the accumulation of greenhouse gases (GHG). Developing countries have increased their importance as emitters of GHG and increasingly, it has become necessary that these countries also contribute to curbing emissions. Brazil already has taken a first step in this direction at conferences in Copenhagen and Cancun, to confirm voluntary national targets to reduce GHG emissions. Like other developing countries, Brazil faces the dual challenge of promoting development and reducing GHG emissions. In this context, this dissertation aims to study alternative climate policies in Brazil, widely discussed in the international arena, such as carbon pricing policies (taxes, carbon trading) and policies to improve energy efficiency. There are many examples of national policies already in place that could serve as an example to the proposition of similar schemes in Brazil, as analyzed in this dissertation.

The research methodology is based on a dynamic-recursive general equilibrium model which incorporates, in its design, a detailed energy sector and fuels use, and an

environmental module, especially developed for the analysis of GHG mitigation policies in Brazil. With such model we explore various alternatives of carbon prices and GHG reductions in the long run, with its associated costs.

In the Brazilian case, the results indicate that ambitious emissions reduction should be associated with longer periods of time, and less ambitious goals to shorter periods, due to the structure of the current Brazilian energy matrix, intensive in low-carbon energy sources. The results presented by the policy of energy efficiency improvements, in turn, are promising. With the increase of energy efficiency, economy starts to grow, reducing its GHG emissions, even considering some of their costs.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1 - Aspectos econômicos e internacionais das mudanças climáticas.....	23
1.1 O problema das emissões de gases de efeito estufa: uma externalidade global negativa	23
1.2 Aspectos internacionais das negociações climáticas e a importância das políticas internas nos cenários pós-2012.....	31
CAPÍTULO 2- Aspectos econômicos das políticas climáticas nacionais.....	41
2.1 Metas de redução de emissões via taxaço de carbono.....	46
2.2 Metas de redução de emissões via mercados de carbono.....	54
2.3 Políticas de melhoria da eficiência energética.....	58
CAPÍTULO 3 - A experiência com políticas de redução de emissões: exemplos, resultados e lições para o Brasil	62
3.1 Políticas de taxaço de carbono	62
3.1.1 Finlândia	64
3.1.2 Holanda.....	64
3.1.3 Noruega	65
3.1.4 Suécia	66
3.1.5 Dinamarca.....	66
3.1.5 Inglaterra.....	67
3.1.6 Austrália	67
3.1.7 Demais regiões.....	67
3.2 Políticas baseadas em mercados de carbono	67
3.2.1 EU ETS – União Europeia.....	70
3.2.2 Proposta norte-americana de mercado de carbono.....	75
3.2.3 Exemplos em outros países.....	76
3.3 Políticas de Eficiência Energética.....	80
3.3.1 Programa de Eficiência Energética na Suécia.....	80
3.3.2 Programas de Eficiência Energética no Reino Unido	81
3.3.3 Programas de Eficiência nos Estados Unidos	81
3.3.4 Programas de Eficiência em outros países.....	82
3.4 Lições para políticas de baixo carbono no Brasil	83
CAPÍTULO 4 - Metodologia.....	90

4.1 A abordagem de Equilíbrio Geral aplicada a questões ambientais	90
4.1.1 Modelo teórico estilizado.	90
4.1.2 Modelos aplicados para análise de questões ambientais	97
4.2 Modelo BeGreen: especificação e calibragem.....	106
4.2.1 Características gerais do modelo.....	106
4.2.2 Estrutura teórica do modelo	112
4.3 Base de dados e parâmetros-chaves.	134
4.3.1 Base de dados energética	142
4.3.2. Base de dados ambiental.....	143
4.4 Simulações e definição dos choques de políticas de mitigação de GEE.....	147
4.4.1.Cenário Base	149
4.4.2 Cenário de política.	153
4.5 Fechamentos	159
CAPÍTULO 5 - Simulações de Políticas de Redução de Emissões de GEE na Economia	
Brasileira	161
5.1 Cenário base.....	162
5.2 Resultados da Política de Imposição de Metas de Emissão de GEE	169
5.2.1 Resultados Macroeconômicos.....	169
5.2.2 Resultados Setoriais	188
5.2.3 Resultados das Emissões por combustíveis	211
5.2.3 Resultados por grupos de famílias	215
5.3 Resultados da Política de Melhoria de Eficiência Energética	221
5.3.1 Resultados Macroeconômicos.....	222
5.3.2 Resultados Setoriais	225
5.3.3 Resultados das Emissões por combustíveis	229
5.3.4 Resultados por grupos de famílias	231
CONCLUSÕES	235
ANEXO 1 - Estrutura teórica e de solução do Modelo BeGreen.....	259
1.1 Especificação simplificada estilizada do núcleo central do modelo BeGreen	259
1.2 Sequência de solução em modelos dinâmicos-recursivos	271
1.3 Estrutura matemática de BeGreen e o método de solução de Johansen / Euler	273
ANEXO 2: Cenário macroeconômico 2012-2030.....	278
ANEXO 3 Análise de sensibilidade.....	288

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Indicadores selecionados para Brasil, China e Índia (População, PIB, Consumo de energia e Emissões) – 2008.....	19
TABELA 2 - Evolução dos Mercados Regionais de Carbono – 2007-2009	78
TABELA 3 – Características dos decis de renda no Brasil pela POF 2002-2003.....	136
TABELA 4 - Coeficientes técnicos de conversão em CO ₂ equivalente	144
TABELA 5 - Emissões associadas ao uso de combustíveis e atividade econômica no Brasil (ano base 2005).....	145
TABELA 6 - Emissões associadas à atividade econômica no Brasil (ano base 2005).....	146
TABELA 3 – Principais variáveis do cenário macroeconômico – variações percentuais médias para períodos especificados (var. %)	151
TABELA 8 – Evolução de Indicadores de Conservação Energética por Setor (Energias Elétricas e Não-Elétricas) ¹ (var. % acumulada).....	157
TABELA 9 - Resultados Macroeconômicos do Cenário Base.	162
TABELA 10 - Variação acumulada das emissões no Cenário base (var% acumulada 2011-2030)	166
TABELA 11 - Crescimento médio anual setorial do Cenário Base.	168
TABELA 12 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)	170
TABELA 13 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia com devolução do imposto às famílias via subsídio ao consumo. (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)	178
TABELA 14 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia com devolução do imposto às famílias e abatimento de emissões pelos setores. (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)	184
TABELA 15 - Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005...190 (% do custo de produção dos setores).....	190
TABELA 16 - Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005 (continuação)	191
(% dos custos de produção dos setores).....	191
TABELA 17 - Participação dos bens energéticos no uso de insumos dos setores intensivos em energia – 2005.....	192
TABELA 18 - Composição setorial do uso de fatores primários – 2005 (% do valor adicionado por setor).....	193
TABELA 19 – Setores mais e menos afetados pela política de metas de redução de emissão em 5% e 25% para cada um dos cenários simulados.....	206
TABELA 20 – Participação das tecnologias na produção setorial.....	207
TABELA 21 - Participação dos insumos energéticos nas tecnologias de produção do setor de Fabricação de aço e derivados	208
TABELA 22 - Participação das tecnologias na produção setorial	208
TABELA 23 – Modificações nas tecnologias de produção setorial decorrentes de políticas de mitigação.....	210
TABELA 24 - Variação acumulada das emissões e contribuição para o alcance da meta de redução de emissões por fontes emissoras	212
TABELA 25 - Participação das fontes emissoras com metas de redução de emissões de GEE em 2030 (part. %).....	213

TABELA 26 - Variação acumulada das emissões e contribuição para o alcance das metas por fontes emissoras para os diferentes cenários das simulações.....	214
TABELA 27 - Participação das famílias no consumo e renda média, por decil de renda – 2005.....	216
TABELA 28 - Participação dos bens energéticos no consumo das famílias - 2005	217
TABELA 29 - Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)	218
TABELA 30 - Efeitos sobre os preços para as famílias do controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 para bens selecionados.	219
TABELA 31 - Impactos sobre a utilidade das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)	220
TABELA 32 - Impactos macroeconomicos do aumento de eficiência energética sobre a economia. (var.% em 2030 – desvio acumulado em relação ao cenário base)	223
TABELA 33 - Modificações nas tecnologias de produção setorial decorrentes da política de melhoria de eficiência energética	228
TABELA 34 - Variação acumulada das emissões e contribuição por fontes emissoras, decorrentes da política de melhoria de eficiência energética	230
TABELA 35 - Participação das fontes emissoras para cada cenário simulado em 2030. ..	231
TABELA 36 - Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base).	232
TABELA 37 - Efeitos sobre os preços para as famílias do aumento da eficiência energética para bens selecionados.	233
TABELA 38 - Impactos sobre a utilidade das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)	234
TABELA 39 – Representação estilizada das equações do BeGreen.....	260
TABELA 40 – Notação no modelo estilizado.....	262
TABELA 41 - Principais Resultados- Bloco Fiscal (setor Público Consolidado)	284
TABELA 42 - Principais Resultados – Bloco Contas Nacionais (preços constantes)	285
TABELA 43 - Principais Resultados do Bloco Balanço de Pagamentos	285

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Arranjos possíveis no contexto de novas negociações Pós-Quito.....	36
FIGURA 2 – Comparação das análises de custo-benefício e custo-efetividade	43
FIGURA 3 - Consumo de energia e Emissões de CO ₂ pelo seu uso. Brasil 1990-2005 (Base:1990).....	59
FIGURA 4 - Estrutura hierárquica da tecnologia de produção para setores sob a hipótese de vetor tecnológico.....	114
FIGURA 5 - Estrutura hierárquica do vetor tecnológico da Geração de Eletricidade.....	115
FIGURA 6 - Estrutura hierárquica do vetor tecnológico da Siderurgia	116
FIGURA 7 - Isoquanta do vetor tecnológico	120
FIGURA 8 - Isoquanta padrão de modelos "top down	120
FIGURA 9 - Estrutura hierárquica dos setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos	122
FIGURA 10 - Estrutura hierárquica da demanda das famílias.....	126
FIGURA 11 - Estrutura hierárquica da demanda por investimento	127
FIGURA 12 - Estrutura da Base de Dados do Modelo BeGreen	135

FIGURA 13 - Simulações com o modelo BeGreen.....	147
FIGURA 14 – Interpretação dos resultados das simulações do modelo BeGreen	149
FIGURA 15 - Resultados Macroeconômicos do Cenário Base: PIB e Emissões (var % acumulada)	164
FIGURA 16 - Evolução dos coeficientes de emissão dos cenários sem estimativas de eficiência energética e com eficiência energética.....	165
FIGURA 16 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões.....	173
FIGURA 17 - Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO2-e)	174
FIGURA 18 - Evolução dos preços de carbono para metas de redução de emissões.....	175
FIGURA 19 - Evolução dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões	176
FIGURA 20 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões.....	180
FIGURA 21 - Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO2-e)	181
FIGURA 22 - Evolução dos preços de carbono para metas de redução de emissões.....	182
FIGURA 23 - Evolução dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões	182
FIGURA 24 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões.....	185
FIGURA 25 - Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO2-e)	186
FIGURA 26 - Evolução dos preços de carbono para metas de redução de emissões.....	187
FIGURA 27 - Evolução dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões	187
FIGURA 28 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial.	195
FIGURA 29 - Impactos no investimento dos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões.....	196
FIGURA 30 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial	197
FIGURA 31 - Impactos no investimento dos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de investimento setorial	198
FIGURA 32 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial	199
FIGURA 33 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial	199
FIGURA 34 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.	200
FIGURA 35 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.	201

FIGURA 36 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de investimento setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.	202
FIGURA 37 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de investimento setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.	202
FIGURA 38 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.	203
FIGURA 39 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.	203
FIGURA 40 - Impactos nos setores mais afetados pelo redução de 5% de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução para as famílias e abatimento de emissões	204
FIGURA 41 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução para as famílias e abatimento de emissões	205
FIGURA 42 - Variação da produção dos setores estruturados por vetores tecnológicos para diferentes cenários das simulações (Meta de 5% de controle de emissões em 2030)	211
FIGURA 44 - Impactos nos setores mais afetados pelo aumento da eficiência energética sobre o nível de produção setorial – cenário Ef_1	225
FIGURA 45 - Impactos investimento setorial do aumento da eficiência energética.....	226
FIGURA 46 - Impactos sobre a produção setorial do aumento da eficiência energética ...	226
TABELA 47 - Impactos sobre o investimento setorial do aumento da eficiência energética	227
FIGURA 48 - Impactos sobre o emprego setorial do aumento da eficiência energética....	227
FIGURA 49 - Variação da produção dos setores estruturados por vetores tecnológicos para diferentes cenários das simulações	229
FIGURA 50 – A sequencia de soluções usando a solução requerida de $t-1$ como solução inicial para t	272
FIGURA 51 – Tipos de simulação em modelos recursivos-dinâmicos	273
FIGURA 52 - Os efeitos sobre $V\alpha$ diante das mudanças de $V\beta$ computados para 1 e 2 passos nos procedimentos de Johansen/Euler em cada ano	277

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Experiências internacionais de políticas de taxaço de carbono.....	63
QUADRO 2 - Comparação das proposiçoões de sistemas de comércio de emissões nacionais	79
QUADRO 3 - Classificação dos setores do modelo BeGreen	109
QUADRO 4 - Classificação dos produtos do modelo BeGreen.....	110
QUADRO 5 - Parâmetros e elasticidades no modelo BeGreen	142
QUADRO 6 - Cenário Base e Cenário de Política: Resumo esquemáticos das simulaçoões	152

QUADRO 7 - Cenários e hipóteses das simulações de metas de redução de emissões com o modelo BeGreen.	154
QUADRO 8 - Hipóteses dos fechamentos do modelo – Cenário base	159
QUADRO 9 - Hipóteses dos fechamentos do modelo – Cenário de política.....	160
QUADRO 10 - Características do Bloco Fiscal	279
QUADRO 11 - Características do Bloco de Contas Nacionais/Mercado de Trabalho	282
QUADRO 12 - Características do Bloco de Balanço de Pagamentos.....	282
QUADRO 13 - Características do Bloco de Financiamento do Investimento	283
QUADRO 14: Parâmetros estimados para o modelo de simulação macroeconômica	287

INTRODUÇÃO

O registro paleoclimático grita para nós que, longe de ser auto-estabilizado, o clima da Terra é uma fera selvagem que reage violentamente à menor cutucada.

Wallace Broecker, *Cooling the tropics*, 1995¹.

Em maio de 2011, a cidade de São Paulo adotou uma lei que previa o banimento das sacolas plásticas nos supermercados da cidade, a partir de janeiro de 2012. Depois de uma longa discussão e impasses jurídicos, a medida foi implementada e gerou reclamações de consumidores, supermercados e da indústria plástica. Em maio de 2012, o ministério público cancelou o acordo que previa o banimento das sacolas, e estas voltaram a ser distribuídas gratuitamente. Processo semelhante ocorreu em Belo Horizonte, com a proibição da venda das sacolas plásticas e também da sua distribuição gratuita, obrigando o uso de material reutilizável pelos consumidores, não antes de uma longa polêmica jurídica. Estes exemplos ilustram a dificuldade na substituição de um produto com notáveis externalidades ambientais negativas (sacolas plásticas) e o problema da incidência dos custos dessa mudança (setor plástico, supermercados, consumidores). Esta tese analisa um problema ambiental semelhante, mas de uma ampla externalidade negativa global, cuja solução pode implicar custos significativos para a economia brasileira: as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o problema decorrente da mudança climática.

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio-ambiente são as mudanças climáticas, originadas pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Desde o início do sec. XXI fortaleceram-se as evidências empíricas de que a atividade humana alterou de maneira significativa a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Essa acumulação de GEE tem sido vista como a causa mais provável da elevação da temperatura e de outras mudanças climáticas observadas no século XX. As projeções climáticas indicam

¹ Broecker, W. S. *Cooling the tropics*. *Nature* 376, p, 212-3, 1995.

que a magnitude do impacto seria suficiente para mudar largamente o clima na Terra e afetar intensamente diversas regiões, países e continentes.

Neste contexto, o Brasil é susceptível de sofrer significativamente os efeitos adversos de alterações climáticas. O Brasil já acumula um aquecimento de cerca de 0,7 °C nos últimos cinquenta anos, valor mais alto que a estimativa mais otimista de aumento médio global, de 0,64 °C. Mesmo considerando a evolução das temperaturas brasileiras apenas no inverno, a tendência é maior em 1°C (MARENGO *et al*, 2011). A partir destas tendências, alguns modelos climáticos sugerem que grande parte da Amazônia oriental brasileira poderá ser convertida em um ecossistema de savana antes do fim deste século. A chamada “savanização” da Amazônia, combinada com a intensificação das queimadas, pode reduzir as chuvas no Centro-Oeste e Nordeste, resultando em menores rendimentos das colheitas, alteração da geografia de produção agrícola do país, menor disponibilidade de água para consumo e para a geração hidroelétrica, além de impactos potenciais sobre a saúde, afetando a distribuição de vetores de doenças infecciosas e endêmicas, como a malária, dengue e febre amarela (GOUVELLO *et. al*, 2010, MARGULIS & DUBEUX, 2010, EMBRAPA, 2008).

A questão que se coloca atualmente não é mais se é certa ou incerta a mudança climática, mas sim como se precaver, quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado. A partir destas constatações, um conjunto de políticas internacionais (como o Protocolo de Quioto) e nacionais tem sido estabelecidas. O que estas buscam, em geral, é uma “Economia de baixo carbono”. Esse termo foi pela primeira vez utilizado no relatório do Departamento de Transporte e do Meio Ambiente do Reino Unido, em 2003, intitulado “*Our energy future-creating a low carbon economy*”. Uma economia de baixo carbono pode ser definida como uma economia com baixa emissão de gases de efeito estufa, incluindo, dentre outras ações, implementações de políticas de mitigação de GEE (UK ENERGY WHITE PAPER, 2003).

Mitigação, definida como redução nas emissões de GEE, envolve mudanças na utilização de recursos naturais; de combustíveis fósseis; o uso de energias alternativas, eficiência energética e modificações em direção a um padrão de consumo menos intensivo em carbono. Alguns destes movimentos podem ser induzidos pelas próprias forças de mercado,

uma vez que modificações tecnológicas e de preferências dos agentes econômicos passem a levar em consideração a necessidade da redução das emissões. Entretanto, diversos condicionantes implicam que o mercado pode falhar no encaminhamento dessas mudanças, dado as incertezas, as deficiências de informação e os custos envolvidos nesses processos. Assim, abre-se espaço para políticas públicas que induzam processos de mitigação de emissões de GEE.

No estágio atual, existem muitas incertezas sobre metas, políticas e responsabilidades quanto a mitigação, e alguns estudos apontam as principais dificuldades e possibilidades que estariam envolvidas nas negociações internacionais após o Protocolo de Quioto, que expirou em 2012 (ver OLMSTEAD e STAVINS, 2010; METCALF e WEISBACH, 2010; NORDHAUS, 2008; RONG, 2010; ZHANG, 2009; KLEPPER, 2011, FRANKEL, 2008). Questões comumente debatidas, e de fundamental interesse para países como o Brasil, são a efetividade e abrangência de um novo acordo. Este será certamente um dos principais focos de futuras negociações. Os países em desenvolvimento, especialmente Brasil, China e Índia serão chamados a se posicionarem em relação à mitigação dos gases de efeito estufa, não pelo tamanho absoluto de sua população, economia, consumo de energia ou emissões de CO₂ (dióxido de carbono), mas notadamente pelo rápido crescimento do PIB e emissões, como pode ser notado na tabela 1 (RONG, 2010)². Espera-se que as emissões de CO₂ dos países em desenvolvimento representem mais de metade das emissões globais até 2030, embora em termos per capita, os países desenvolvidos ainda estejam bem à frente. (IEA, 2009). Esses países já tem enfrentado uma crescente pressão para reduzir suas emissões de carbono.

² Apesar do crescimento pouco expressivo enfrentado pela economia brasileira em 2011 e 2012, a tabela mostra como estão fortemente associadas as emissões de CO₂ com o crescimento econômico no Brasil.

TABELA 1 - Indicadores selecionados para Brasil, China e Índia (População, PIB, Consumo de energia e Emissões) – 2008

País	População		PIB		Consumo de Energia			Emissões de CO2		
	Milhões	%	Bilhões (\$)	%	Taxa de Crescimento (%) ^a	Milhões de toneladas ^b	%	Milhões de toneladas	%	Taxa de Crescimento (%) ^a
Brasil	192	2,9	1613	2,7	5,4	228	2	350	1,2	6,8
China	1318	19,9	3860	6,4	13	2003	17,7	6083	20,7	6,4
Índia	1125	17	1217	2	9,1	433	3,8	1370	4,7	7
Mundo	6610	100	60115	100	3,8	11295	100	29167	100	1,6

^a2007-2008

^bEquivalentes de petróleo

Fonte: Adaptado de Rong (2010). Dados retirados de Banco Mundial (2009) e EIA (2009)

Por outro lado, as oportunidades de reduções de emissões a baixo custo podem ser maiores para os países em desenvolvimento (WATSON, 2001). Conforme estimativa de Edmonds *et al* (1997), se os principais países em desenvolvimento fossem incluídos entre os países do Protocolo de Quioto com metas obrigatórias de emissão, os custos totais envolvendo a redução global de GEE poderiam ser reduzidos em até 50%.

Portanto, consideradas as devidas diferenças com relação à China e Índia, o Brasil poderá ter também metas obrigatórias de redução de emissões num futuro acordo pós-Protocolo de Quioto, o que, pelo menos em tese, estimula o país a contribuir mais ativamente para o combate do fenômeno da mudança climática após 2012.

Um primeiro passo já foi dado neste sentido nas conferências em Copenhague (2009) e em Cancun (2010), nos quais o Brasil confirmou as suas metas nacionais voluntárias de redução de emissões de gases de efeito estufa, com reduções entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Estas metas foram definidas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), aprovada pelo Congresso Nacional (Lei no 12.187) em 2009. No caso brasileiro, as autoridades têm apontado para o controle do desflorestamento, especialmente na Amazônia, como a principal proposta do país para reduções de emissões de GEE. Deve-se ressaltar, no entanto, que conforme apontam as estimativas mais recentes de queda na taxa de desmatamento e, por conseguinte das emissões associadas à mudança no uso da terra (INPE, 2012), é provável que nos próximos anos, a participação desta fonte de emissões se reduza consideravelmente, deixando de ser considerada a principal fonte de emissões de GEE no Brasil.

Não se pode esquecer, portanto, do papel relevante que assume as emissões derivadas do uso de combustíveis e de processos produtivos, como a agropecuária, por exemplo. Essa importância é intensificada, sobretudo, em razão das tendências de aumento das emissões do setor energético, de transporte (principalmente em relação ao uso do diesel), refino de petróleo e do setor industrial, cujas emissões acompanham o crescimento econômico. Para 2030, por exemplo, as emissões projetadas do setor energético, excluindo combustíveis para transporte, são de um aumento de 97% ou mais do que 25% das emissões nacionais (GOUVELLO *et. al*, 2010, VIOLA, 2009). Isto sem mencionar os impactos que a descoberta das grandes reservas petrolíferas na camada de Pré-Sal brasileira pode trazer em termos de emissões de GEE. Para se ter uma ideia deste potencial, partindo de estimativas conservadoras, o pré-sal deve dobrar as reservas de petróleo do país para 31 bilhões de barris, apenas considerando a parte já descoberta (EXAME, 2012). Acredita-se que existam outros 87 bilhões de barris não descobertos, o que colocaria o país no nível de reservas do Iraque³, por exemplo. De cada três barris de petróleo descobertos no mundo nos últimos cinco anos, um foi descoberto no Brasil, que ainda responde por 63% das descobertas mundiais de petróleo em águas profundas. Projeções indicam que, com o desenvolvimento das reservas recém-descobertas, o Brasil será o país com maior crescimento de produção dentre os países fora da OPEP até 2030 (EXAME, 2012, ANP, 2012). Estudo de Mendes e Rodrigues Filho (2012), por exemplo, aponta para uma dinâmica de crescimento das emissões do setor de Refino de Petróleo com a exploração do pré-sal. Embora a tendência seja a exportação de grande parte dessa produção, o país estaria contribuindo com a intensificação das emissões globais. Diferentemente de uma poluição localizada, não importa o local de origem das emissões de GEE, por seu caráter inerentemente global: a atmosfera absorve e mistura uniformemente esses gases, afetando a todos (PEREIRA e MAY, 2003). Neste contexto, Viola (2009) destaca a necessidade de se vincular a descoberta dessas novas reservas com o objetivo sustentável de uma economia de baixo carbono.

Há um grande debate em curso sobre a forma como as políticas de mitigação serão implementadas: por mecanismos econômicos, como impostos, subsídios e mercado de carbono, ou regulamentações (regulamentações governamentais, padrões de desempenho e

³ As reservas de petróleo do Iraque se situaram em 115 bilhões de barris em 2011 (BP Statistics, 2012).

programas voluntários, por exemplo). Um cenário alternativo pós-Quito, com a não-ratificação de um acordo global, seria a criação e fortalecimento de políticas nacionais de redução de GEE, que poderiam tomar a forma de políticas de tributação, mercados regionais de créditos de carbono ou políticas de fortalecimento e incentivo a eficiência energética. Existem muitos exemplos de políticas nacionais já em funcionamento. A Dinamarca, por exemplo, é o principal país a adotar taxas sobre o carbono e alcançar as metas de redução de emissões propostas no Protocolo de Quito. O maior mercado de carbono do mundo é o da União Europeia, o EU ETS (*European Union's Emissions Trade Scheme*), que tem servido como exemplo na proposição de esquemas semelhantes nos Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia. Programas de sucesso em termos de eficiência energética e que tem auxiliado o cumprimento de metas de redução de emissões podem ser encontrados na Suécia e Inglaterra.

Um tema ainda pouco discutido na economia brasileira é a viabilidade e o custo de políticas de redução de emissões de GEE. Existem poucas estimativas dos impactos que estes mecanismos teriam sobre a economia, setores e emissões. A incidência destas políticas sobre as famílias, em termos de Bem-estar, ainda é uma lacuna na literatura. Uma política agressiva de redução de emissão de GEE poderia representar um obstáculo ao crescimento ou ser regressiva do ponto de vista distributivo. Como muitos outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as suas emissões.

Esta tese tem como objetivo estudar alternativas de políticas de mitigação ou de baixo carbono sobre as emissões derivadas do uso de combustíveis e dos processos produtivos, que nos últimos tempos tem ganhado proeminência no cenário internacional, como as de precificação de carbono (impostos, mercado de carbono) e as de eficiência energética. Esta última, por exemplo, faz parte das políticas apontadas para o alcance da meta de redução de emissões na PNMC e ainda não foi estudada quanto a seus impactos econômicos e potencial de redução de emissões.

Assim, diante destes cenários e do novo contexto pós-2012, mostra-se importante estudar as perspectivas e políticas para o desenvolvimento de uma “economia de baixo carbono no

Brasil”. Tais alternativas podem configurar uma forma mais ativa do país contribuir para o combate ao aquecimento global e liderar esta tendência entre países em desenvolvimento.

Para o propósito desta tese, em termos metodológicos, há um avanço ao se desenvolver um modelo aplicado de equilíbrio geral, dinâmico-recursivo, construído para a realidade e especificidade brasileira, com detalhamento energético e ambiental, especialmente capacitado para a análise de políticas de redução de GEE sobre a economia. O modelo é inovador em vários aspectos, desde sua alta desagregação de produtos energéticos e setores, passando pela incorporação de mecanismos de dinâmica recursiva até, e notadamente, à sua especificação energética e ambiental diferenciada. Esta tese está organizada em seis capítulos, assim sumarizados: o primeiro, apresenta uma apreciação do problema das emissões de gases de efeito estufa e das negociações internacionais após o fim do Protocolo de Quioto. O capítulo 2 discute os aspectos econômicos das políticas de mitigação abordadas por esta tese. O terceiro capítulo avalia a experiência internacional quanto a estas políticas, trazendo implicações dessas experiências para o caso brasileiro. O capítulo 4, por sua vez, detalha a metodologia desenvolvida para projetar os efeitos de políticas de mitigação sobre a economia brasileira. Os principais resultados das políticas de mitigação simuladas são reportados no capítulo 6. E por fim, tecem-se as conclusões desta tese.

CAPÍTULO 1 - Aspectos econômicos e internacionais das mudanças climáticas

1.1 O problema das emissões de gases de efeito estufa: uma externalidade global negativa

De todas as questões ambientais que têm surgido nas últimas décadas, a mudança climática global é uma das mais sérias, e também a mais difícil de gerir. Não por menos, a mudança climática é considerada a mãe de todas as externalidades: maior, mais complexa, e mais incerta do que qualquer outro problema ambiental (TOL, 2009). Externalidade pode ser definida como o impacto das ações de um indivíduo/firma sobre o bem-estar/produção de outros que não tomam parte destas ações. A presença de externalidades leva a uma alocação sub-ótima de recursos, dado que os custos associados a estas externalidades não são contabilizadas pelos agentes (MARSHALL, 1890; PIGOU, 1920). As emissões de GEE se configuram como tal, uma vez que impõe custos sobre a sociedade global, que não são levados em conta nas decisões dos agentes individuais (BAUMOL e OATES, 1995, NORDAUS & BOYER, 1999).

Logo, a mudança climática é uma das mais sérias externalidades devido à gravidade dos danos que pode trazer. Muitos aspectos da sociedade humana e seu bem-estar - onde vivemos, como construímos, como nos deslocamos, como nos alimentamos, e o que fazemos no lazer - dependem de uma gama relativamente benigna de condições climáticas, mesmo embora esta dependência tenha sido reduzida nas modernas sociedades industriais pela sua riqueza e tecnologia. Esta dependência das condições climáticas pode ser visto nos danos econômicos e sociais causado pelas variações climáticas do século passado, como o "El Niño" e as secas plurianuais que ocorreram em vários locais do globo. Alterações climáticas previstas neste século são muito maiores do que as variações ocorridas no século XX, e seus impactos tendem a ser proporcionalmente mais intensos e difusos (DESSLER e PARSON, 2010).

O clima afeta a agricultura, o uso de energia, a saúde e muitos outros aspectos da natureza. Consequentemente, uma alteração climática rápida e crescente irá representar uma ameaça

adicional a outras questões ambientais como a qualidade do ar e da água, perigo de extinção e ameaça a biodiversidade, e danos às zonas costeiras, zonas úmidas, e a camada de ozônio estratosférico.

Tanto o Quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2007) quanto a Organização Mundial de Saúde (OMS) apontam para uma maior frequência de eventos extremos, tais como precipitações e ondas de calor e até períodos de inverno rigoroso, como decorrência da tendência de aumento das temperaturas globais médias. Isso, por sua vez, poderá impactar a saúde das populações, por meio de disseminação de doenças, suas condições de vida, os assentamentos humanos bem como suas atividades, os padrões de suprimento de água e alimento, assim como os padrões de risco a desastre (ALVES, 2009).

Mudanças climáticas também podem ocasionar impacto importante sobre a atividade econômica e, mais que isso, impactos diferenciados, considerando, por exemplo, a heterogeneidade espacial da estrutura produtiva. A atividade agrícola, por exemplo, pode ser seriamente afetada, quer seja na disponibilidade de terras, oferta de água ou produtividade dos insumos, assim como, a eficiência e os custos de produção do setor energético. Os impactos diretos das mudanças do clima sobre a produção e a distribuição da produção agrícola, ou mesmo da disponibilidade energética no país, são apenas alguns dos efeitos econômicos causados por esse fenômeno. As consequências das alterações climáticas são muito diversas, e os países de baixa renda que menos contribuem para as alterações são os mais vulneráveis a seus efeitos.

Projeções futuras de mudanças climáticas são incertas. O conhecimento sobre a mudança climática, como todo o conhecimento científico, está sujeito a incertezas. Mas só porque algo é incerto não implica que não se devem fazer recomendações e estudar políticas para minimizar os efeitos negativos. Em particular, não significa necessariamente que o correto é não fazer nada até que estejamos certos. Tomando as estimativas mais pessimistas em relação à mudança climática deste século XXI e as incertezas inerentes a cada estimativa, as mudanças reais podem se configurar em maior ou menor grau, mas elas existem. A menos que o indivíduo seja amante do risco - o que a maioria não é - isso significa que a incerteza faz com que a mudança climática seja considerada mais grave, não o contrário.

Projeções atuais de mudança climática neste século sustentam, na extremidade superior do intervalo de incerteza, mudanças rápidas sem precedentes na história da Terra, e cujos impactos sobre o bem-estar humano e da sociedade pode ser catastrófico. Isso não significa que essas mudanças extremas são certas, ou até mesmo prováveis, mas apenas que é suficientemente grave para ser considerada nas decisões da sociedade (DESSLER e PARSON, 2010).

Além de poder ser considerando o mais sério problema ambiental enfrentado pela humanidade, pela gravidade envolvendo suas consequências, a mudança climática é também complexa em suas causas. As fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) são mais difusas do que qualquer outro problema ambiental. Cada empresa, cada fazenda, cada família emite gases de efeito estufa. A complexidade perpassa pela variedade de gases. O dióxido de carbono (CO_2) é o principal deles e é emitido principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, desmatamentos e queimadas. Outros gases também contribuem de maneira importante para a intensificação do aquecimento global. Pode-se citar, em ordem de relevância, o metano (CH_4), notadamente emitido pela fermentação entérica dos ruminantes e pela produção de lixo e esgoto, óxidos de nitrogênio (NO_x) – emitido pela agropecuária e processos industriais e clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), e hexafluoreto de enxofre (SF_6), emitidos por uma variedade de processos industriais ⁴.

Por toda esta complexidade, a mudança climática também é um problema ambiental difícil de gerir. A mudança climática é um problema de longo prazo. Alguns gases de efeito estufa permanecem na atmosfera centenas de anos (IPCC, 2007, TOL, 2009). Nenhum país sozinho é capaz de enfrentar os desafios impostos pela mudança climática, que incluem decisões políticas, mudanças tecnológicas e consequências globais de longo alcance. Além

⁴ Esses gases podem ser ainda convertidos em uma unidade comum chamada "potencial de aquecimento global" (GWP – Global Warming Potential), que mede a importância relativa dos gases de efeito estufa, em relação ao dióxido de carbono (CO_2), na produção de uma quantidade de energia ao longo de um período de 100 anos. Estes fatores de conversão variam amplamente entre os gases. Por exemplo, com base no IPCC (2007), o "potencial de aquecimento global" do metano é de 21, enquanto o potencial do hexafluoreto de enxofre é de 23.900. Um potencial de aquecimento global de 21 indica que uma tonelada de metano emitido tem o mesmo impacto do aquecimento global por mais de 100 anos, que 21 toneladas de dióxido de carbono (METCALF, 2009).

disso, questões ambientais muitas vezes carregam compensações difíceis e conflitos políticos, porque a solução, em geral, requer a limitação de alguma atividade economicamente produtiva ou do consumo. Tais mudanças podem ter custos não desprezíveis, principalmente para economias calcadas no uso de combustíveis fósseis ou para os países pobres e em desenvolvimento que ainda não completaram seus processos de industrialização e desenvolvimento. Soma-se ainda, a intensificação da crise econômica e financeira global, de 2008/2009, que tem imposto obstáculos, afetando negativamente os esforços dirigidos para enfrentar o aquecimento global e os investimentos privados em tecnologias “limpas” (BANCO MUNDIAL, 2010).

No início da década de 1990, no encontro realizado no Rio de Janeiro (RIO-92), da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, foram debatidas as causas e implicações das mudanças climáticas globais, culminando com que a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas propusesse a base para a chamada Convenção Quadro Sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change). A Convenção, cujo objetivo é estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) ⁵ na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica (humana) perigosa no sistema climático, buscou fortalecer o trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), um grupo científico de trabalho que avalia os impactos e tendências das mudanças no clima. (UNFCCC, 2001).

Alguns dados podem ser sumarizados a partir do mais recente relatório do IPCC (2007):

- i) Entre 1970 e 2004, as emissões globais de CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs e SF₆ ponderadas pelo seu potencial de aquecimento global, aumentaram em 70% (24% entre 1990 e 2004). As emissões destes gases aumentaram em taxas diferentes. As emissões de CO₂, por exemplo, aumentaram em cerca de 80% entre 1970 e 2004 (28% entre 1990 e 2004) e representam 77% do total de emissões antrópicas de gases de efeito estufa em 2004.

⁵ São considerados GEE: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias dos perfluorcarbonos (PFCs, em especial perfluormetano CF₄ e perfluoretano C₂F₆) e dos hidrofluorcarbonos (HFCs).

- ii) A concentração atmosférica global dos gases mostra que a concentração de CO₂ aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A mesma tendência ocorre com o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), aumentando de 715 ppb para 1774 e 270 ppb para 319 ppb em 2005, respectivamente⁶. É importante ressaltar que mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso é antrópica e originadas da agricultura.
- iii) O maior aumento das emissões globais entre 1970 e 2004 se deu no setor de energia (aumento de 145%). O aumento neste período das emissões diretas⁷ dos transportes foi de 120%, da indústria, 65% e do uso da terra, mudança no uso da terra e florestas⁸, 40%. Entre 1970 e 1991, as emissões diretas da agricultura aumentaram em 27% e as das edificações, em 26%, as últimas se mantiveram aproximadamente nos níveis de 1990 desde então.
- iv) O efeito nas emissões globais de redução da intensidade do uso global de energia (-33%) no período de 1970 a 2004 foi menor do que o efeito combinado do aumento da renda global (77%) e do crescimento da população global (69%), ambos geradores das crescentes emissões de CO₂ relacionadas com a energia. A tendência de longo prazo de redução da intensidade de carbono da oferta de energia se reverteu após 2000. As diferenças entre os países em termos de renda per capita, emissões per capita e intensidade de energia continuam sendo significativas.
- v) Onze dos últimos doze anos (1995-2006) estão entre os 12 anos mais quentes desde que a temperatura global vem sendo monitorada (desde 1850).
- vi) Para as próximas duas décadas está projetado um aumento de cerca de 0,2°C. Mesmo que as concentrações de todos os GEE forem mantidas fixas no mesmo nível de 2000, espera-se um aumento de cerca de 0,1°C por década.

⁶ Ppm e ppb significam partes por milhão e partes por bilhão, respectivamente.

⁷ As emissões diretas em cada setor não compreendem as emissões do setor elétrico para a eletricidade consumida nos setores de edificações, indústria e agricultura ou as emissões das operações das refinarias que fornecem combustível ao setor de transporte.

⁸ O termo “uso da terra, mudança no uso da terra e florestas” descreve as emissões agregadas de CO₂, CH₄, N₂O provenientes do desflorestamento, biomassa e queima, decomposição da biomassa decorrente da exploração madeireira e do desflorestamento, decomposição da turfa e queima da turfa. As emissões não incluem a absorção de carbono (remoções).

Para a América Latina, também foram projetadas algumas tendências no relatório do IPCC (2007):

- i) Até meados do século, os aumentos de temperatura e diminuição do estoque de água no solo projetam uma reposição gradual da floresta tropical pela savana no sudeste da Amazônia. A vegetação semiárida tenderá a ser substituída pela vegetação árida.
- ii) Existe um risco significativo de perda de biodiversidade através da extinção de diversas espécies em muitas áreas tropicais da América Latina.
- iii) As mudanças no padrão de chuvas e o desaparecimento de glaciares projetam um efeito significativo sobre a disponibilidade de água para consumo humano, agrícola e geração de eletricidade.
- iv) A produtividade de alguns cultivos agrícolas importantes tende a cair, e também a produtividade da pecuária deve declinar com implicações adversas sobre a segurança alimentar. Nas zonas temperadas a produção de soja projetada pode aumentar.

Em suma, o crescimento das emissões de GEE nas taxas atuais ou em taxas superiores causará um aquecimento maior e induzirá a diversas mudanças no sistema climático global durante o século XXI, que muito provavelmente serão maiores que as observadas durante o século XX (IPCC, 2007).

Neste contexto, o Brasil é susceptível de sofrer significativamente os efeitos adversos de alterações climáticas. Conforme Marengo *et al*, (2011), o Brasil já acumula um aquecimento de cerca de 0,7 °C nos últimos cinquenta anos, valor mais alto que a melhor estimativa de aumento médio global, de 0,64 °C. A Amazônia e o Nordeste seriam as regiões mais vulneráveis à esta mudança do clima. A Floresta Amazônica, por exemplo, desempenha um papel crucial no sistema climático, ajudando a direcionar a circulação atmosférica nos trópicos ao absorver energia e reciclar aproximadamente metade das chuvas que caem nela (MARENGO *et. al*, 2011). Na Amazônia, o aquecimento pode estar entre 7 e 8°C em 2100 e grande parte da Amazônia Oriental poderia ser convertida em um ecossistema de savana antes do fim deste século. Estima-se que as mudanças climáticas resultariam em redução de 40% da cobertura florestal. A “savanização”, combinada com a

intensificação das queimadas, pode influenciar também as chuvas no Centro-Oeste e Nordeste, resultando em menores rendimentos das colheitas e disponibilidade de água para consumo e para a geração hidroelétrica (GOUVELLO et. Al, 2010, MARGULIS et. al, 2010).

Em termos econômicos, conforme o estudo “Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades” (MARGULIS e DUBEUX, 2010), os impactos da mudança climática na economia brasileira trariam uma redução do PIB de 0,5% e 2,3% em 2050, considerando o cenário mais pessimista e o mais otimista em termos das mudanças climáticas, respectivamente. Estas perdas ficariam entre R\$ 719 bilhões e R\$ 3,6 trilhões, o que equivaleria a pelo menos um ano inteiro de crescimento nos próximos 40 anos. Em termos individuais, haveria uma perda *per capita* anual em 2050 entre R\$ 534 (ou US\$ 291) e R\$ 1.603 (ou US\$ 874). O valor presente em 2008 das reduções no consumo dos brasileiros acumuladas até 2050 ficaria entre R\$ 6.000 e R\$ 18.000, representando de 60% a 180% do consumo anual per capita atual.

O “aquecimento global pode provocar perdas nas safras de grãos de R\$ 7,4 bilhões já em 2020 - número que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070 – e alterar profundamente a geografia da produção agrícola no Brasil” (EMBRAPA, 2008). Além disso, a ausência de medidas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e de adaptação de cultivos pode ocasionar o deslocamento de plantações para áreas nas quais, atualmente, não se verifica sua ocorrência, como forma de aproveitar as condições climáticas mais adequadas:

“A mandioca pode desaparecer do semiárido, e o café terá poucas condições de sobrevivência no Sudeste. Por outro lado, a região Sul, mais restrita às culturas adaptadas ao clima tropical por causa do alto risco de geadas, deve experimentar uma redução desse evento extremo, tornando-se assim propícia ao plantio de mandioca, de café e de cana-de-açúcar, mas não mais de soja, uma vez que a região deve ficar mais sujeita a estresses hídricos. A cana pode se espalhar pelo país a ponto de dobrar a área de ocorrência” (EMBRAPA, 2008).

Os impactos diretos do clima sobre a produção e a distribuição da produção agrícola no país são apenas alguns dos efeitos econômicos causados por esse fenômeno. A atividade agrícola, afetada diretamente pela mudança climática, repercute sobre outros setores econômicos. Por exemplo, aumenta o custo de produção agrícola e da pecuária, eleva o custo dos insumos para o setor de alimentos e para o consumo das famílias. Assim, gera queda de atividade econômica em vários setores, que acabam espalhando seu impacto no sistema econômico. Algumas regiões, beneficiadas pela introdução ou ampliação de cultivos, podem atrair fatores produtivos (capital e trabalho) e serviços, deslocando a atividade econômica de outras regiões.

Estes efeitos são apontados por Domingues *et al* (2008) e Moraes (2010), que indicam impactos negativos potenciais na região Nordeste, consequência do clima semiárido e perfil produtivo da região, além de impactos sobre a área aptas ao cultivo nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. O resultado líquido aponta para redução da atividade econômica (PIB), elevação de preços de gêneros alimentícios e deslocamentos regionais da mão de obra, do Nordeste e Centro Oeste para as demais regiões. Como consequência são estimados impactos significativos sobre os fluxos migratórios, repercutindo na forma de elevadas pressões sobre os serviços de infraestrutura urbana das metrópoles e de outras regiões do país.

Avaliações sobre o impacto na pobreza para os municípios brasileiros podem ser encontradas em Assunção e Chein (2010). Suas estimativas sugerem que o aquecimento global afetará negativamente o produto agrícola per capita brasileiro em 18%, com efeitos diferenciados sobre os municípios (-40% a +15%). A taxa de pobreza, por consequência pode ter um acréscimo entre 2 a 3,2%, considerando os cenários otimista e pessimista, respectivamente.

1.2 Aspectos internacionais das negociações climáticas e a importância das políticas internas nos cenários pós-2012

A mudança do clima é um problema global que sugere a necessidade de uma resposta global. Todavia, o desafio de se alcançar um acordo para reduzir as emissões de GEE após o Protocolo de Quioto tem se mostrado cada vez mais difícil. A crise mundial iniciada em 2007 reduziu temporariamente o crescimento das emissões nos países desenvolvidos, mas também diminuiu a preocupação política em torno do controle das emissões (KEPPLER, 2011).

O Protocolo de Quioto – o primeiro grande esforço internacional para reduzir as emissões de GEE - foi criticado por ser ineficaz, não especificando compromissos firmes para o corte de emissões (ver NORDHAUS e BOYER, 1999; SCHELLING, 2002; McKIBBIN e WILCOXEN, 2002; BOHRINGER e VOGT, 2003, BARRETT, 2003). Além disso, apenas os países industrializados adotaram compromissos de mitigação quantificados, em acordo com o princípio de "responsabilidades comuns, mas diferenciadas", contido no artigo 3.1 da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Levando em conta o nível de emissões recentes, a não inclusão de países em desenvolvimento com metas obrigatórias, e a possibilidade de “carbon leakages”⁹, tem comprometido as negociações em torno de um acordo global. Isto foi apontado como uma das causas da não-ratificação do tratado pelos EUA, em 2001. Sem o país, o escopo do protocolo caiu para 30% das emissões mundiais (NORDHAUS, 2008)¹⁰.

A Conferência entre as Partes (COP-15) de 2009 em Copenhague era tida como aquela que definiria os contornos de um novo acordo pós-Quito. Apesar de um amplo acordo ser almejado, a Conferência não conseguiu definir novas metas para o corte de emissões, deixando a definição de objetivos e sua verificação para futuras negociações. Uma série de

⁹ *Carbon leakage* é o aumento das emissões globais devido à penalização de emissões de GEE em um país e que incentiva seu deslocamento para outro, em que o custo de poluir é menor (FELDER e RUTHERFORD, 1993, TAMIOTTI *et al.*, 2009).

¹⁰ Outros problemas apontados são a falta de metas explícitas de longo prazo, escala geográfica reduzida e promoção insuficiente de desenvolvimento e transferência tecnológica.

razões explica o relativo fracasso na negociação de Copenhague. Primeiramente, a ausência de protocolos de execução, diferenças nas métricas adotadas e instrumentos utilizados dificultaram a elaboração de um protocolo consensual. Segundo, faltou engajamento político, posto que nenhum representante de estado discutiu as bases do acordo antes da conferência. Além disso, a negociação revelou um alto nível de descrença por parte de muitos países (BECCHERLE e TIROLE, 2011). Vários países, por exemplo, condicionaram reduções mais ambiciosas de suas emissões à provisão de recursos financeiros pelos países ricos ou a ações mais ambiciosas de outros países, como os em desenvolvimento.

Contudo, segundo alguns analistas, o relativo descrédito da conferência de Copenhague foi substituída por certo progresso na Conferência de Cancun (COP-16) em 2010 que resultou em uma série de resultados positivos para o financiamento das políticas de mitigação ou de baixo carbono. Dentre eles, estão a oficialização do objetivo de limitar o aquecimento global a 2°C; a decisão de estabelecer o Fundo Verde Climático; a extensão dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto, incluindo melhorias no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a inclusão dos mecanismos de redução do desmatamento através dos REDD (Redução das Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal) e REDD+¹¹, com a possibilidade de geração de crédito de carbono para estas atividades, o maior debate sobre políticas de precificação de carbono e, principalmente o reconhecimento formal das metas propostas pelos países em desenvolvimento através das “Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas”, mas conhecido como NAMAs (acrônimo em inglês para *Nationally Appropriate Mitigation Actions*), que buscam atingir um redução relativa nas emissões de GEE em relação a uma tendência “*business-as-usual*” até 2020 (WORLD BANK, 2011).

¹¹ Por este mecanismo, países em desenvolvimento com florestas tropicais que se dispusessem a implantar e comprovassem programas de redução de emissões de GEE resultantes do desmatamento e da degradação florestal poderiam obter incentivos positivos ou compensações financeiras. Na sua essência, o mecanismo tem como objetivo mudar as estruturas de incentivo em favor da proteção das florestas. Mais tarde, em 2008, pressões de países, como a Índia, levaram à concepção do *REDD plus* (REDD+) que garante que a conservação, gestão sustentável de florestas e o incremento dos estoques de carbono nas florestas tenham a mesma importância que a redução do desmatamento e da degradação de florestas nas negociações relacionadas aos projetos REDD (HOLLOWAY e GIANDOMENICO, 2009).

Desta forma, abriu-se um leque de opções e ao mesmo tempo incertezas no contexto de uma nova arquitetura de negociações internacionais climáticas. Esta seção discute e analisa alguns dos principais cenários propostos de negociação pós-2012.

Uma revisão de propostas de negociação pode ser encontrado em Bodansky *et al* (2003), Aldy *et al* (2003), Bodansky (2007), Gupta *et al.* (2007) e Gainza-Carmenates *et al* (2010). Algumas das propostas se baseiam na arquitetura básica do Protocolo de Quioto, por exemplo, estendendo a estrutura do MDL ou articulando um acordo para uma participação mais ampla dos países. Outros partem de diferentes aspectos da arquitetura já existente, como por exemplo, articulando diferentes tipos de comprometimento (políticas e formas de validação no lugar de metas quantitativas de emissões), processos distintos de negociação (metas nacionais de emissão, abordagens setoriais) e diferentes escalas de negociação (pequeno grupo de países no lugar de um processo global). Outros tópicos abordam questões referentes a desenvolvimento e transferência tecnológica, eficiência energética, adaptação e financiamento.

Quatro potenciais arquiteturas pós-Quoto têm recebido maior destaque, conforme aponta Aldy e Stavins (2009):

- 1) Políticas de metas de emissões obrigatórias para cada país em um novo acordo internacional. O uso de fórmulas e multi-critérios para alocar reduções tem sido a abordagem mais desejada para evitar decisões simplesmente baseadas em negociações políticas.
- 2) Sistema de impostos de carbono harmonizados que poderiam gerar receitas de forma equitativa para financiar uma resposta à mudança climática.
- 3) Sistemas de “*cap-and-trade*” com base em leilões seriam a alternativa de menor custo e com grande potencial de geração de receitas que também ajudariam a financiar as ações de mitigação.
- 4) Políticas domésticas, tais como precificação de carbono e políticas regulatórias a nível nacional e regional, que facilitariam a implementação efetiva de redução de emissões para um posterior acordo global.

Estas propostas, particularmente, estão enquadradas em duas abordagens distintas para o estabelecimento de políticas de mitigação. O primeiro caso se define como abordagem “*top-down*” (de cima para baixo), caracterizada por um processo de tomada de decisão multilateral e centralizada, ancorada nas negociações da UNFCCC. A segunda abordagem, por sua vez, é conhecida como “*bottom-up*” (de baixo para cima), associada com a tomada de decisão descentralizada dos países ou entidades sub-nacionais que implementam políticas mitigatórias individual ou multilateralmente. (ZAPFEL e VAINIO, 2002).

O desenvolvimento de um sistema global de comércio de emissões multilateral e centralizado seria construído com a experiência de sistemas de comércio já existentes, incluindo: i) a criação de uma nova “mercadoria” (licença de emissões) mais homogênea com direitos de propriedade e regras de transferência adequadas; ii) o uso do sistema de licenças em conjunção com a adoção de limites de emissões e sua relação com a regulamentação tradicional e instrumentos fiscais iii) disposições claras quanto à atribuição de licenças e o reconhecimento de créditos. iv) regras harmonizadas para o comércio internacional, evitando distorções de mercado, tais como, tarifas, barreiras não-tarifárias, poder de monopólio, expropriação, dentre outras; v) mecanismos de monitoramento, informação e verificação, além de regras de responsabilidade e sanções pelo não-cumprimento e vi) registro e escrituração das licenças de emissões (ALDY e STAVINS, 2009).

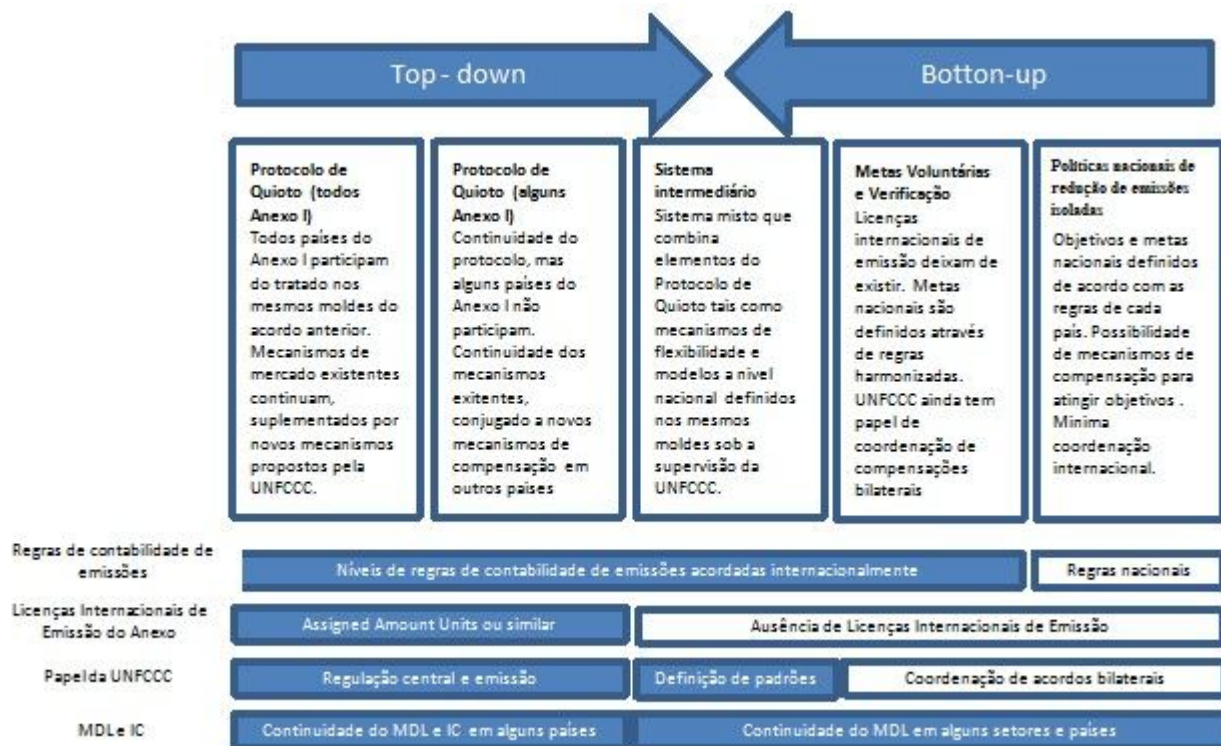
Muitos analistas acreditam que devido ao incentivo à existência de “caronas”¹² e das fortes assimetrias econômicas e ambientais, é improvável que um acordo internacional possa ser assinado por um grande número de países (CARRARO e SINISCALCO, 1993). Portanto, mais recentemente, a ideia de uma arquitetura “*bottom-up*” tem ganho mais força (CARRARO, 1999; EGENHOFER *et al*, 2001; BOSETTI e BUCHNER, 2009). A maior viabilidade política emerge como o ponto forte dessa última abordagem, ao passo que um amplo acordo internacional pode exigir muito mais tempo para se consolidar (FLASHLAND *et al*, 2008).

¹² Em termos econômicos, um indivíduo ou agente é considerado “carona” quando recebe o benefício de um bem ou ação, mas evita pagar por eles.

Contudo, as desvantagens dessa fragmentação podem incluir um alcance menor das metas de redução de emissões a um custo maior (MICHAELOWA, 2011). Hof *et al.* (2009), por exemplo, mostra que a fragmentação vai inevitavelmente levar a maiores custos de mitigação, qualquer que seja a configuração dos custos marginais. Outro efeito importante é o que se conhece como “*carbon leakage*”, i.e, o aumento das emissões em outros países que não estão envolvidos em regimes de mitigação. Sinn (2008) e Beccherle e Tirole (2011) mostram que a existência de “*free-riders*” (caronas) dentro de uma arquitetura fragmentada pode levar a um maior nível de emissões do que a ausência de acordos.

Prag *et al* (2011) apontam que um novo regime pós-2012 estaria entre o sistema centralizado e o fragmentado, o que eles denominam de “Meio termo”, ou um Sistema Intermediário (ver Figura 1). Esta arquitetura combinaria algumas características de centralização que são comumente vistas como úteis, tais como regras de contabilidade comuns, mecanismos de flexibilidade a elementos fragmentados de cada política nacional. A UNFCCC continuaria a desempenhar um papel importante como unidade internacional de contabilidade de emissões, embora nitidamente diferente de seu papel atual. Além de continuar a emitir créditos de emissão de projetos de MDL, a instituição poderia fornecer uma plataforma de princípios comuns ou normas mínimas a todas as Partes.

FIGURA 1 - Arranjos possíveis no contexto de novas negociações Pós-Quito.



Fonte: Adaptado de Prag *et al* (2011)

A distribuição das responsabilidades no caso de um acordo global também se tornou uma questão importante e até um entrave, quando se trata das negociações no âmbito da mudança climática. A avaliação da distribuição intergeracional dos benefícios e custos das novas alternativas de regimes climáticos vem se tornando necessária para a identificação de estratégias climáticas equitativas. Existem grandes diferenças entre as emissões absolutas e *per capita* das diferentes regiões do mundo e esta desigualdade sugere diferentes níveis de responsabilidade e capacidade na contribuição para as alterações climáticas. Os países desenvolvidos são responsáveis pelo alto nível de emissões acumuladas em termos absolutos e *per capita*. Contudo, as taxas de crescimento das emissões de CO₂ em algumas economias em rápida expansão (China) sugerem que qualquer solução em relação à mudança climática requer a participação tanto dos países desenvolvidos quanto os em desenvolvimento. A estabilização das concentrações atmosféricas de GEE envolve limitar o nível mundial de emissões e distribuir este nível entre os diversos países. Vários critérios para esta distribuição têm sido levantados e se tornam importantes na medida em que serão

utilizados para a determinação tanto das responsabilidades dos países e consequente alocação e oferta de certificados como dos custos e os impactos intergeracionais envolvidos (PRAG *et al*, 2011).

Clarke *et al* (2009) através de uma revisão dos principais cenários resultantes do “*Energy Modeling Forum*”¹³ (EMF 22), aponta que um futuro mais realista seria a arquitetura em que os países assumiriam responsabilidades diferenciadas, no qual as regiões desenvolvidas tomariam a frente em relação às ações de mitigação e consequentes custos num primeiro período e as regiões restantes, tais como países em desenvolvimento, BRICS, e resto do mundo, contribuiriam com esforços de redução de emissões em diferentes momentos no futuro.

Alguns estudos argumentam que a forma mais provável de compromissos para os países em desenvolvimento é um regime de metas diversificado, no qual são atribuídos compromissos com base no grau de desenvolvimento econômico (CRIQUI *et al.*, 2003; HOHNE *et al.*, 2008). Em termos de equidade, não seria razoável exigir o mesmo compromisso para países desenvolvidos e em desenvolvimento. Ashton e Wang (2005) propõem condições-chaves que poderiam assegurar dimensões de equidade num novo acordo: i) esforços significativos para reduzir as emissões dos EUA (com metas obrigatórias ou mesmo voluntárias de redução de emissões); ii) posição de liderança dos países desenvolvidos em relação às ações de mitigação e metas mais rigorosas de emissão; iii) comprometimento dos países em desenvolvimento, mesmo que com metas voluntárias de emissão e iv) maior auxílio a estes países nas ações contra os impactos climáticos e problemas de adaptação.

No âmbito de um regime com metas diferenciadas, uma abordagem multi-estágio recebe atenção considerável (den ELZEN *et al.*, 2003). Esta abordagem sugere, por exemplo, que países em estágio inicial de desenvolvimento não devem ter compromissos para limitar emissões, ao passo que países com estágio mais avançado de desenvolvimento podem ser obrigados a reduzir suas emissões em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) ou se comprometer com uma redução absoluta. A União Europeia tem manifestado uma

¹³ O EMF é um importante fórum internacional conhecido pelas discussões sobre questões energéticas e ambientais localizado na Universidade de Stanford,

preferência por tal abordagem, dado que se mostra como um caminho promissor para incentivar a participação dos países em desenvolvimento (PRAG *et al*, 2011).

Outro ponto que tem suscitado discussões é a forma pelo qual as metas deverão ser cumpridas. O Protocolo de Quioto, por exemplo, estabelecia limites para as emissões em termos absolutos, com metas diferenciadas para países. Alternativas a essa medida de limite absoluto, principalmente para os países em desenvolvimento, seria o uso de intensidade de emissões ou metas em relação a um cenário “*business-as-usual*” (CLINE, 1992). Reduções relativas têm por objetivo principal evitar restrições ao crescimento ou desenvolvimento econômico dos países, dado que as emissões estão associadas à produção industrial e ao ritmo de crescimento. Essas metas têm por base o conceito de “*growth baseline*” proposto por Hargrave *et al* (1988), no qual as emissões dos países em desenvolvimento não são limitadas em termos absolutos, mas devem crescer a um ritmo mais lento que a produção do país, de forma carbono-eficiente. Não está claro se esta forma de controle é capaz de estabilizar a quantidade de CO₂ na atmosfera no limite considerado seguro pelos cientistas.

Propostas para novas metas de emissões tomando em consideração uma abordagem de multi-critérios tem se sobressaído nos fóruns de negociação mundial (FRANKEL, 2007; BOSETTI e FRANKEL, 2010). Nesta abordagem, o cálculo para as metas se baseia numa composição de vários indicadores: PIB per capita, intensidade das emissões em relação ao PIB, crescimento populacional e das emissões de GEE, entre outros.

Esta metodologia, proposta por Frankel (2008) sugere metas de longo prazo (até 2100) que não comprometam o crescimento econômico dos países em desenvolvimento nas décadas iniciais, mas que ao longo do tempo, impõe limites de emissões para reduzi-las abaixo do cenário “business as usual”. Tomando este sistema de metas, simulações indicam que as perdas econômicas para a maioria dos países ficaria abaixo de 1% do PIB na primeira metade do século e as concentrações de CO₂ poderiam se estabilizar em 500 ppm dentro de 25 anos.

Outras sugestões de compromissos diferenciados entre países são a abordagem de “convergência per capita”, que atribui licenças de emissão para os países com base na

evolução das emissões per capita (BLANCHARD, 2002) e a abordagem que utiliza como indicador os níveis de emissão atuais (PEARCE e WARFORD, 1993).

Um elemento chave em um novo arranjo de negociações refere-se à extensão do prazo para as metas e o objetivo de estabilização das concentrações de CO₂-e na atmosfera (que se situam entre 650 e 450 ppm CO₂-e¹⁴). As metas do Protocolo de Quioto, por exemplo, teriam sido pouco efetivas para redução das emissões de GEE e para a manutenção das concentrações desejadas na atmosfera, devido ao prazo demasiadamente curto, ainda mais considerando que a mudança climática e, principalmente o desenvolvimento de políticas de mitigação (como mudanças tecnológicas) se configuram como um problema de longo prazo (OLMSTEAD e STAVINS, 2010).

Outro importante item discutido nas negociações entre os países é a necessidade de mecanismos de monitoramento, informação e verificação, conhecidos como MRV (*“Monitoring, reporting and verification”*), previsto no Plano de Ação de Bali¹⁵. A definição de indicadores para o monitoramento das políticas e a avaliação de sua efetividade seriam formas de se assegurar a transparência do acordo (WORLD BANK, 2011).

Do exposto acima e pela dificuldade e incerteza de se alcançar um acordo global para a mitigação da mudança climática, políticas domésticas tem ganhado expressão como meio de se atingir as metas de redução de emissões propostas pelos países dentro da UNFCCC.

Na literatura, três principais categorias de políticas nacionais climáticas são discutidas para o alcance de metas de redução de emissões de maneira custo-eficiente, conforme aponta BARANZANI *et al*, (2000):

- 1) Mecanismos de mercado via mudança de preços relativos: nesta categoria enquadram-se impostos de carbono ou sistemas de teto e comercialização (cap-and-trade) para corrigir as externalidades associadas às emissões.

¹⁴ Partes por milhão de CO₂ equivalente, ou seja, ponderado pelos potenciais de aquecimento global.

¹⁵ Em 2007, na COP 13, em Bali, foi aprovado o Plano de Ação de Bali, em que foi estabelecido formalmente um processo de negociação para aumentar a implementação da Convenção, que deveria se concluir na COP 15, em Copenhague, e foi estendido até a COP 16, em Cancún. Retirado de <http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-esta-em-jogo/a-convencao> Acesso em 28 de novembro de 2012.

- 2) Políticas tecnológicas para o desenvolvimento de formas avançadas de energia, por meio de apoio à pesquisa e desenvolvimento (P&D) e programas de difusão no mercado. Esta política tem como objetivo corrigir o comportamento “miope” em indústrias devido à incerteza sobre as futuras políticas e dificuldades em manter o investimento em inovação quando um horizonte de longo prazo está envolvido.
- 3) Normas para a eficiência energética de forma a corrigir falhas de mercado associadas a informação assimétrica, estruturas de incentivos distorcidas, e outras barreiras para a eficiência energética.

Políticas domésticas, portanto, tendem a ter um papel relevante na adaptação e mitigação dos efeitos da mudança climática, no cumprimento de metas dos países e no direcionamento das economias rumo a uma menor emissão de GEE. Quanto às políticas de mitigação, objeto de estudo desta tese, há um grande debate em curso sobre a forma de como devem ser implementadas. Os diferentes mecanismos tem suas vantagens e desvantagens (BOHM e RUSSEL, 1985; STAVINS, 1997). Na seção seguinte, apreciam-se os aspectos econômicos das principais alternativas de políticas custo eficientes, como forma de subsidiar a análise dos resultados desta tese, que tem por objetivo estudar políticas de precificação de carbono e de melhoria da eficiência energética para o caso brasileiro.

CAPITULO 2- Aspectos econômicos das políticas climáticas nacionais

Existe uma antiga discussão sobre o efeito do crescimento econômico na degradação ambiental, na depleção de recursos naturais e nos determinantes das forças motrizes que aceleram o aquecimento global. A discussão das relações entre meio ambiente e economia remete à discussão de “limites” ao crescimento econômico. Na década de 1970, o estudo conhecido como “Os Limites do Crescimento”, patrocinado pelo Clube de Roma, argumentava que o crescimento contínuo da economia teria chegado ao extremo e que o mundo estava entrando na “era dos limites” (MEADOWS *et al.*, 1972), entretanto tais resultados foram contestados por diversos especialistas (e.g. NORDHAUS, 1992). No começo da década de 1990, esta hipótese, da pressão do crescimento econômico sobre o meio ambiente, foi retomada no âmbito das mudanças climáticas, especialmente a partir dos primeiros relatórios do IPCC.

Recentemente, o efeito estufa, ou aquecimento global é um dos temas predominantes no âmbito da Economia do Meio Ambiente. Alguns pesquisadores afirmam que a magnitude do impacto desse fenômeno é suficiente para mudar largamente o clima na Terra e afetar intensamente algumas regiões, países e continentes. A escala do impacto saiu da dimensão local e regional para a escala mundial, visto que o aumento da temperatura e as modificações no clima são função do acúmulo das emissões históricas dos países, que elevaram as concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera. Além disso, os atores deixaram de ser “empresas poluidoras” e “habitantes de áreas de impacto direto e indireto” para envolver todo o sistema produtivo, demandando uma redefinição do padrão e do nível de consumo e mudanças no modelo energético.

Desde 2005, no âmbito das políticas de mudança climática, o debate em torno de planos e propostas de mitigação de gases de efeito estufa tem se intensificado, em busca de uma economia de baixo carbono. Mitigação pode ser definida com uma das estratégias de resposta à mudança do clima, que busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fortalecer as remoções por sumidouros de carbono, tais como florestas e oceanos. Seguindo o UNFCCC (2007), o que estaria em jogo seria atingir o objetivo final de estabilização das

concentrações de GEE na atmosfera num nível que impeça a interferência antrópica perigosa no sistema climático, o que os cientistas estimam estar entre 450 a 650 ppm CO₂-e.

A mitigação de gases de estufa tem o caráter de um “bem público” ¹⁶ global cujos benefícios atingem a todos, ao passo que os custos são repassados àqueles que financiam a mitigação. Em contraste com outros bens públicos, como segurança pública, benefícios da mitigação não são imediatos, e pelo contrário, só podem ser sentidos no futuro, o que compromete, muitas vezes, a implementação de políticas.

Um importante elemento é que as políticas climáticas devem corrigir as externalidades¹⁷ decorrentes de problemas ambientais, como é o caso das emissões de GEE. Do ponto de vista econômico, o objetivo de uma política ambiental deve ser assegurar que os custos externos da poluição sejam totalmente absorvidos por aqueles responsáveis por ela. Uma política ambiental ótima exigiria um equilíbrio entre os custos de poluição e os custos de controle da poluição. Em outras palavras, onde o dano marginal da poluição iguala o benefício marginal das atividades poluidoras.

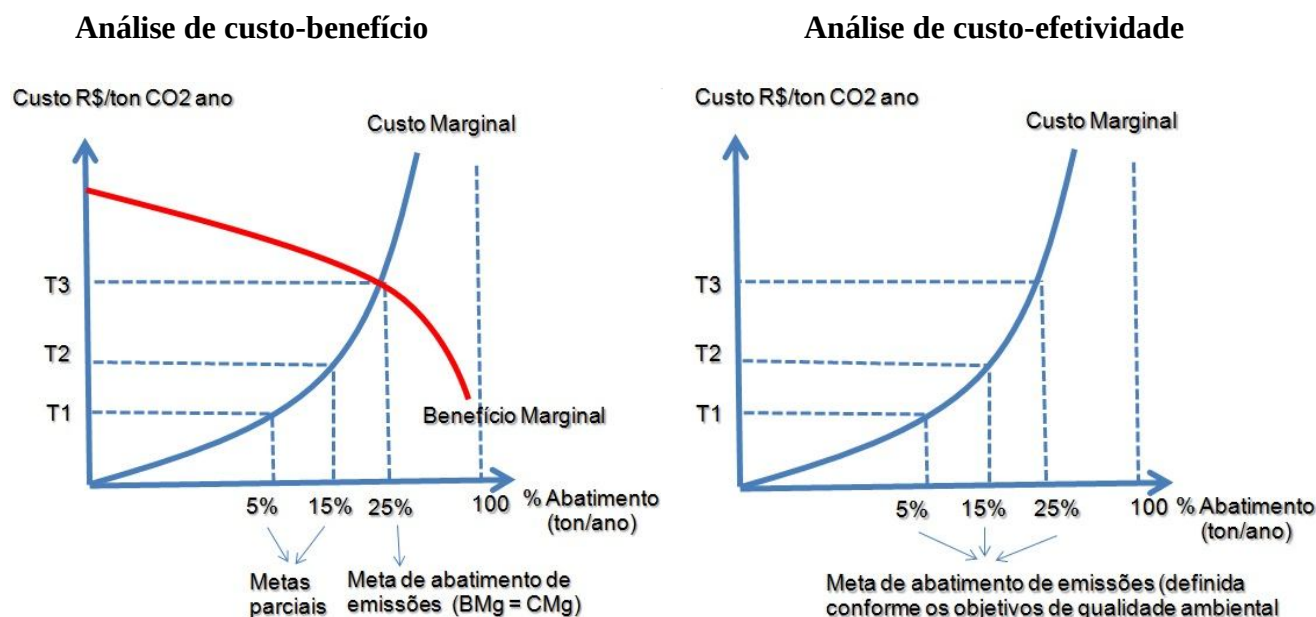
Esta abordagem, utilizada para a internalização dos custos de controle da poluição, é denominada análise de custo-benefício, cuja meta ótima é determinada igualando-se o custo marginal de abatimento ao benefício marginal para a sociedade. Entretanto, há uma grande dificuldade em se valorar economicamente os benefícios associadas à redução da poluição, de modo a maximizar o benefício social líquido do conjunto dos indivíduos afetados. Por esta razão, sua aplicabilidade é considerada limitada. Em resposta a esta limitação, a abordagem de custo-efetividade vem crescentemente sendo empregada (CÁNEPA, 2003). Com base na análise de custo-efetividade, as metas são definidas com base nos objetivos determinados pela sociedade, no qual a valoração econômica diz respeito apenas aos custos

¹⁶ Bens públicos são definidos como aqueles bens cujos indivíduos não podem ser excluídos do seu consumo (não-excluíveis) e a oferta independe do número de agentes atingidos (não-rival). Assim, os direitos de propriedade de bens públicos não estão definidos e, portanto, as trocas com outros bens acabam não se realizando eficientemente no mercado competitivo e é necessária a intervenção de política públicas para que a eficiência seja alcançada.

¹⁷ Pigou propôs a internalização das externalidades mediante mecanismos de mercado (taxas pigouvianas) como um meio para equiparar os custos privados aos custos sociais.

de abatimento associados à redução da poluição ou das emissões. Esta abordagem é utilizada nesta tese. A figura 2 ilustra as duas abordagens mencionadas.

FIGURA 2 – Comparação das análises de custo-benefício e custo-efetividade



Fonte: Elaboração própria com base em Cánepa (2003).

A redução de emissões de gases de efeito estufa tem sido buscada através de diversas políticas governamentais, em diferentes países, que utilizam instrumentos econômicos (subsídios, taxas de carbono, isenção de impostos, mercados de carbono), regulatórios (limite de emissões, controle de emissão veicular) e também processos políticos.

Em princípio, qualquer dado padrão de redução da poluição pode ser alcançado por meio de regulamentação, que limita a emissão de poluentes para um dado nível, ou através da imposição de impostos ou taxas sobre a poluição de forma a proporcionar um incentivo para redução das emissões ao nível desejado.

Tradicionalmente, os instrumentos regulatórios têm sido mais frequentes na elaboração de políticas ambientais. As normas regulatórias de “comando e controle” podem ter dois enfoques: o tecnológico e o de desempenho. Padrões com enfoque tecnológico normalmente requerem a utilização de um equipamento ou processo específico. No contexto das políticas climáticas, estes poderiam exigir das empresas o uso de motores e

processos de combustão mais eficientes, ou tecnologias de coletas de gases em aterros sanitários, por exemplo. Normas com base no desempenho são mais flexíveis, especificando os níveis permitidos de emissão de poluentes, mas deixando a critério das entidades reguladas os métodos necessários para se atingir estes níveis. Padrões uniformes de tecnologia e desempenho podem, em princípio, ser eficazes para atingir algumas metas ambientais. Entretanto, tais políticas apresentam certos limites e, em particular, vem sendo criticadas por certa rigidez e falta de eficiência econômica, principalmente no que concerne a questão das mudanças climáticas. Devido à natureza do problema, no qual gases como o CO₂ podem ser emitidos a partir de um grande número de fontes distintas, é especialmente complexo definir instrumentos regulatórios que alcancem um resultado efetivo de redução de emissões. Em geral, políticas de limitações são uniformes para diferentes fontes. Na prática, no entanto, os meios e custos de controle das emissões variam entre setores e empresas, muitas vezes substancialmente. Com efeito, pode haver diferenças consideráveis entre os custos de redução da poluição - algumas empresas podem, por exemplo, ser capazes de instalar equipamentos de controle de poluição de forma mais barata do que outras. Uma regulação que exige um mesmo nível de redução de emissões a todos os poluidores não é a maneira mais eficiente ou de menor custo para se alcançar uma redução desejada na poluição total (BEHR *et al*, 2009).

Para além dessas considerações, as normas regulatórias convencionais também não fornecem incentivos dinâmicos para o desenvolvimento, a adoção e a difusão de tecnologias ambientalmente e economicamente superiores. Uma vez que uma empresa satisfaça um padrão de desempenho, tem pouco incentivo para desenvolver ou adotar tecnologias mais limpas. Padrões tecnológicos são menos indicados que os de desempenho, pois inibem a inovação uma vez que, pela sua própria natureza, eles limitam as opções tecnológicas por parte das empresas (ANDY e STAVINS, 2009).

Em resposta a essas limitações da regulamentação ambiental para a questão das mudanças climáticas, abordagens baseadas em mecanismos de mercado têm sido amplamente discutidas. É o caso da taxação de carbono e de políticas de “*cap-and-trade*” ou simplesmente, mercado de carbono. (ver MANNE e RICHELIS, 1991; NORDHAUS, 1993). As políticas baseadas em mecanismos de mercado forçam as atividades emissoras e

os combustíveis fósseis a internalizar os custos de suas emissões, permitindo que os custos do aquecimento global e da degradação ambiental sejam efetivamente levados em conta pelos agentes econômicos em seus processos de tomada de decisão. Um amplo conjunto de trabalhos estuda medidas deste tipo (BAUMOL e OATES, 1988; TIETENBERG, 1990; STAVINS, 1997, por exemplo).

Casos bem sucedidos dessas políticas também podem ser encontrados no mundo real. Os países nórdicos, por exemplo, já tem sistemas de taxação de carbono consolidados, que, em parte, os ajudaram a atingir algumas das metas de redução de emissões contidas no Protocolo de Quioto. Nas duas últimas décadas, o comércio de emissões tornou-se cada vez mais popular como um instrumento de política ambiental para o controle da poluição atmosférica. O programa de “*cap-and-trade*” de dióxido de enxofre (SO₂) dos EUA, por exemplo, iniciado em meados dos anos 90, é considerado como um caso bem sucedido no controle das emissões, obtendo substanciais ganhos de eficiência econômica se comparado a políticas de comando e controle baseadas em incentivo a novas tecnologias e padrões pré-determinados¹⁸.

Os mecanismos de mercado, portanto, tem dois atrativos principais. Primeiramente, permitem que as empresas e indivíduos escolham reduzir a poluição (emissões de GEE) onde os custos de fazê-lo são mínimos, alcançando um determinado grau de controle da poluição a um custo menor do que a aplicação de uma regulamentação. Em segundo lugar, os instrumentos de mercado proporcionam um incentivo contínuo para o desenvolvimento de produtos e processos menos poluentes, ao passo que regulamentações tendem a incentivar apenas o cumprimento mínimo exigido.

A seção seguinte faz uma apreciação mais detalhada de políticas de redução de emissões de GEE via mecanismos de mercado.

¹⁸ O programa foi responsável pelo corte de mais de 50% das emissões de SO₂ e resultou em custos de cumprimento das metas 50% menores do que se tivesse atingido pelas regulamentações convencionais, (CARLSON *et. al*, 2000)

2.1 Metas de redução de emissões via taxação de carbono

Como instrumento de mitigação mais eficiente, a precificação de carbono tem sido altamente recomendado por economistas e organizações internacionais (ALDY *et al*, 2008; HEPBURN, 2006; NORDHAUS, 2008, UNDP, 2007, IMF, 2008). Conforme aponta o Relatório de Desenvolvimento Humano do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, as políticas baseadas em mecanismos de mercado, como a taxação de carbono, são uma condição necessária para a transição para uma economia de baixo carbono, que aliado ao papel dos governos na definição de normas regulatórias e incentivo à pesquisa e desenvolvimento podem trazer resultados efetivos para a redução das emissões (UNDP, 2007).

Dinamarca, Finlândia, Suécia, Holanda e Noruega foram os primeiros a adotar impostos sobre o carbono e, como tal, servir de base para implementações em outros países e cidades. (BARANZANI, 2000),

Impostos sobre as emissões são considerados instrumentos baseados no mercado porque, uma vez que a autoridade administrativa define as taxas do imposto, bens intensivos em carbono tendem a sofrer aumento dos preços e/ou as empresas, redução dos lucros. Consequentemente, as forças de mercado espontaneamente trabalham de maneira custo-efetiva para reduzir suas emissões.

Custo-efetividade implica que o custo total de redução de emissões para atingir um objetivo específico ambiental é minimizado. Um imposto sobre as emissões é uma política custo-efetiva, pois dado que o imposto é o mesmo para cada poluidor - condição necessária para uma taxação ótima - os custos marginais de redução (ou abatimento)¹⁹ são implicitamente equalizados, e, assim, os poluidores com custos relativamente mais baixos tendem a fazer maiores esforços de redução das emissões.

O Imposto de Pigou (PIGOU, 1920) é a base teórica da qual se derivaram as políticas de taxação de carbono, que tratam de corrigir as externalidades provocadas por custos

¹⁹ O custo marginal de abatimento representa o aumento no custo total de abatimento quando o esforço de redução é aumentado em uma unidade (BAUMOL & OATES, 1988).

marginais externos, não contabilizados pelas decisões dos agentes econômicos. O imposto de carbono é concebido para ser um imposto sobre o consumo de bens intensivos em carbono, sendo proporcional ao conteúdo de carbono e ao dano marginal das emissões de CO₂. Quando o critério do dano é substituído por uma meta de redução de emissões, a taxa ideal é determinada até o ponto em que a restrição é atendida. Enquanto a maioria dos impostos distorce os incentivos, um imposto ambiental corrige uma distorção, ou seja, as externalidades negativas decorrentes das emissões de GEE, melhorando a qualidade ambiental. Assim, um imposto ou taxação de carbono deve ser considerado um imposto benéfico, pois corrige uma falha de mercado.

Um imposto eleva preços relativos de produtos e serviços de acordo com sua intensidade de carbono e assim, desestimula seu uso. A precificação do carbono, segundo Nordhaus (2008), permite atingir quatro objetivos: i) sinaliza aos consumidores quais bens e serviços são de elevado conteúdo de carbono e devem ser utilizados com moderação; ii) mostra às firmas quais insumos são mais carbono-intensivos e quais são menos, induzindo-as à substituição por insumos de baixo-carbono; iii) proporciona incentivos de mercado para a inovação e desenvolvimento de produtos de baixo conteúdo de carbono; e iv) permite que os três mecanismos acima sejam postos em operação ao menor custo de informação possível.

Há grandes vantagens de uma taxa de carbono sobre a alternativa de regulação das emissões através de políticas convencionais de comando e controle. Os impostos ambientais têm o potencial de minimizar os custos de cumprimento das metas para os setores, e conseqüentemente, para os consumidores que irão arcar com os custos de uma parte do imposto. Este resultado de custo mínimo deriva do fato de que um imposto comum a todos os poluidores leva a taxas variáveis de abatimento de emissões determinadas pelos custos marginais individuais de redução da poluição. Poluidores com alto custo marginal tendem a pagar o imposto, em vez de diminuir as emissões, concentrando medidas de abatimento em emissores com baixo custo de redução de emissões. Logo, o efeito geral é a minimização dos custos de controle (BAUMOL e OATES, 1988). Simulações sugerem que o uso da precificação de carbono (impostos ou licenças negociáveis) pode reduzir os custos de cumprimento das metas em até 50% (TIETENBERG, 1990).

Além disso, taxas de carbono funcionam como um incentivo contínuo para a adoção de tecnologias limpas e conservação de energia. Grosso modo, o uso de padrões tendem a favorecer mudanças para tecnologias disponíveis. Mas a menos que os padrões sejam continuamente revistos e ajustados para atingir as melhores tecnologias, não há incentivo para que o poluidor vá além do padrão regulamentado. Um imposto, por outro lado, é sempre presente à medida que bens intensivos em carbono são consumidos. Este aspecto de eficiência dinâmica da imposição de taxas é relevante, uma vez que incentiva o desenvolvimento não só de tecnologias menos poluentes, mas também de tecnologias que sequestram carbono (“sumidouros”), conhecidas também como “*Carbon capture and storage*” (CCS) (TIETENBERG, 1990).

Em anos mais recentes, a literatura tem se debruçado em estudar aspectos concernentes à mudança climática e a taxação de carbono. Em particular, a partir da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima em 1992 (UNFCCC, 2001), a demanda por estudos que analisassem políticas de mitigação e seus custos aumentaram sensivelmente, associado também a maior efetividade das negociações internacionais, que necessitavam de informações acerca dos aspectos econômicos das políticas climáticas. A teoria econômica tem desenvolvido modelos com o propósito de avaliar os impactos do aquecimento global e das políticas de resposta a esta mudança. Neste contexto, vários estudos apontam os custos e efetividade que políticas de taxação poderiam trazer.

Manne e Richels (1991), Whalley e Wigle (1991) e Nordhaus (1994) são precursores no desenvolvimento da literatura sobre o custo das políticas de mitigação, estimando os impactos da adoção de taxas de carbono sobre as emissões globais de CO₂. Os resultados simulados pelos autores, em linhas gerais, projetam significativos efeitos de mitigação das emissões, mesmo considerando diferentes configurações das taxas de imposto. Estimativas para o nível de imposto sobre o carbono variam na faixa de US\$5 a US\$50 por tonelada de CO₂. Nordhaus (2008), em um de seus estudos mais abrangentes, estima um preço global de carbono em US\$9,5 por tonelada de CO₂ em 2015, subindo para US\$ 23 por tonelada em 2050 e US\$ 56 em 2100 (em dólares de 2005). O trabalho também analisa taxas de carbono necessárias para um conjunto de diferentes políticas globais. As estimativas de taxação de carbono para a economia global se alteram consideravelmente de acordo com a

política analisada. Por exemplo, o atendimento das metas do Protocolo de Quioto, com os Estados Unidos implicaria uma taxa de US\$15,02 por tonelada a partir de 2015, declinando a US\$11,25 em 2105. Uma “política ótima” que objetivasse níveis ótimos de emissões e taxas de carbono a partir de 2019 implicaria taxa de US\$53,39 em 2025, atingindo US\$ 217,02 em 2105. Stern (2007), por sua vez, comparando as mesmas suposições de políticas, sugere preços mais elevados no curto prazo, em torno de US\$ 85 por tonelada de CO₂.

Estudos de taxa de carbono a nível nacional também tem sido extensivamente examinados na literatura para uma série de países. Grande parte aponta efeitos potenciais de mitigação de GEE a partir da introdução de políticas baseadas na taxa de carbono. Barker *et al.*(1993), Symons *et al.* (1994), Goto (1995) simulam cenários de taxa de carbono na Inglaterra sugerindo um baixo custo para se estabilizar as emissões. Aasness *et al.* (1996) estimam os efeitos das taxas de carbono na Noruega, mostrando o potencial impacto dos impostos para o cumprimento das metas propostas no Protocolo de Quioto, assim como Nakata e Lamont (2001) concluem o mesmo sobre a taxa no Japão. Outros estudos para países da Europa podem também ser encontrados em Floros e Vlachou (2005), para a Grécia e Wissema e Dellink (2007), para a Irlanda.

Alguns trabalhos mostram que o efeito positivo da taxa é limitado quando são aplicadas taxas diferenciadas ou isenções em setores específicos (LIN e LI, 2011). Bruvoll e Larsen (2004) verificaram que durante o período 1990-2000, apesar de aumentar o total de emissões de CO₂ na Noruega, a intensidade de carbono foi significativamente reduzida.

Diversos trabalhos tem se interessado pelos impactos que as políticas de taxa de carbono teriam sobre os países em desenvolvimento, com destaque para a China (LIANG *et al.*, 2007; BRENNER *et al.*, 2007; LU *et al.*, 2010; ZHOU *et al.*, 2011, dentre outros). Os resultados são ambíguos em termos dos custos associados às políticas de mitigação. Em um cenário sem isenção de impostos ou redistribuição das receitas fiscais, conforme aponta Liang *et al.* (2007), a implementação do imposto sobre o carbono na China, teria um grande impacto negativo sobre o PIB, bem como sobre a produção de indústrias intensivas em energia. Estes efeitos poderiam ser atenuados a partir da redistribuição das receitas. Em contrapartida, Lu *et al.* (2010) indicam que um imposto responsável por reduzir as emissões

em cerca de 18% no país teria um custo de 1,1% de queda do PIB, apesar de em termos nominais este valor seja relevante.

Mesmo considerando taxas de carbono instrumentos custo-eficientes para atingir uma meta de redução de emissões, devido a seu impacto direto sobre os preços, os custos impostos à economia podem ser não desprezíveis, sendo fundamental considerar ainda incentivos indiretos que possam surgir a partir do uso das receitas fiscais. Com efeito, sem qualquer redistribuição das receitas, impostos de carbono podem impor custos mais elevados aos poluidores e consumidores dos produtos intensivos em carbono. A razão pela qual taxas de carbono impõe custos à economia é que, para além dos custos de redução de emissões²⁰, os poluidores tem que pagar o imposto sobre o nível de emissão residual. Os governos podem então, adotar uma postura fiscalmente neutra, utilizando as receitas para financiar investimentos em tecnologias limpas ou minimizar efeitos negativos dos impostos sobre a economia. A gestão das receitas é, portanto, um elemento essencial para aumentar a aceitabilidade e, possivelmente, até mesmo aumentar a sua eficácia sobre outros instrumentos (BARANZINI, 2000).

Na prática, as receitas decorrentes da imposição de impostos não são redistribuídas para a população, mas absorvidas pelo orçamento governamental. No entanto, as propostas atuais para as chamadas “reformas fiscais ecológicas” geralmente propõem alguma forma de redistribuição (“reciclagem”) das receitas (BARANZANI, 2000, GOULDER, 1995). Existem várias opções de redistribuição das receitas, tais como (BARANZANI, 2000):

- 1) Reforma fiscal (ou neutralidade das receitas). Nesta opção, os impostos “verdes” são utilizados para diminuir outros impostos, de modo que a situação orçamental do governo não é alterada e a carga tributária permanece a mesma. O princípio básico subjacente é o de mudar a tributação sobre bens econômicos (como trabalho, renda ou propriedade) para os “males” ambientais (como a poluição). Existem várias opções possíveis com relação à redução de impostos, tais como: i) diminuição de impostos sobre a folha de pagamentos, ii) sobre o imposto de renda, iii) sobre bens

²⁰ Custos de Redução ou abatimento de emissões incluem todos os custos relacionados com as atividades de redução de emissões tais como, substituição de combustíveis, mudança de tecnologia, redução da produção.

finais iv) desoneração de tributos sobre empresas, e v) redução de impostos sobre propriedade.

- 2) Direcionamento das receitas para o financiamento de programas ambientais específicos (por exemplo, fundos e projetos ambientais, pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias)
- 3) Medidas de compensação: neste caso, as receitas fiscais são usadas para compensar alguns dos mais afetados pelo imposto. Essa compensação poderia tomar a forma de uma redistribuição *lump-sum* para a população, o que poderia corrigir impactos negativos sobre as famílias, enquanto subsídios para introduzir tecnologias mais “limpas” poderiam compensar setores poluidores pelos custos de abatimento adicionais.

Dependendo da forma pela qual as receitas são devolvidas, os impostos de carbono podem gerar benefícios além das reduções esperadas nas emissões. Na literatura, a discussão dessas questões se refere à hipótese de “duplo dividendo”, ou “*double dividend*” (BARKER, 1995; PEZZEY e PARK, 1998). Este debate propõe que o uso correto das receitas provenientes do imposto pode reduzir impostos distorcivos, tendo impactos positivos sobre o crescimento econômico, emprego e o desenvolvimento tecnológico.

Se a receita for neutra, impostos poderiam ser introduzidos de uma maneira custo-efetiva, aumentando sua aceitabilidade política. Na literatura, no entanto, existem ambiguidades em relação a hipótese de “duplo dividendo”. Conforme aponta Baranzani (2000), de um lado, resultados de alguns estudos empíricos (BACH *et al*, 1994;. BARKER, 1995; EKINS, 1998) mostram que uma melhoria da qualidade do meio ambiente pode ser acompanhada de aumento simultâneo do emprego. Por outro lado, outros estudos parecem rejeitar a hipótese (BOVENBERG e GOULDER, 1996, PEZZEY e PARK, 1998).

Impactos distributivos são considerados um dos principais temas na agenda política acerca da introdução de impostos de carbono. Com efeito, existe uma certa resistência à introdução de impostos de carbono que recaem sobre os pobres, como aponta o trabalho de POTERBA (1991). Assim sendo, mesmo sendo utilizados para corrigir uma externalidade negativa ou “mal” econômico de maneira custo-efetiva, a distribuição do seu custo parece um elemento fundamental para sua aceitabilidade (BARANZANI, 2000).

Os impactos distributivos de impostos de carbono sobre a economia podem ser medidos através de diferentes dimensões, tais como a distribuição entre as famílias de acordo com os decís de renda; entre famílias rurais e urbanas, ou entre gerações. Grande parte dos estudos existentes sobre as implicações distributivas se concentra na elucidação dos impactos sobre diferentes grupos de renda. À primeira vista, espera-se que os impostos de carbono sejam regressivos, ou seja, tenham uma incidência proporcionalmente maior sobre famílias de baixa renda, dado que nessas famílias gasta-se uma fração maior de renda disponível em energia. No entanto, essa suposição inicial merece uma análise mais aprofundada uma vez que os impactos distributivos podem ser complexos de prever, dado que dependem de alguns fatores (BARANZINI, 2000; METCALF, 2009):

- 1) Estrutura do consumo das famílias, que inclui as despesas com bens energéticos (por exemplo, carvão, gás natural e combustíveis). As famílias têm diferentes padrões de despesa, especialmente se considerarmos os decís de renda.
- 2) Incidência do imposto, ou seja, se o imposto de carbono será totalmente repassado aos consumidores através de preços mais altos de energia e de produtos, ou se produtores e trabalhadores arcarão com o ônus em termos de lucros e salários mais baixos, respectivamente.
- 3) A distribuição dos benefícios da melhoria da qualidade ambiental. Os impactos distributivos de um imposto sobre o carbono dependem não apenas da distribuição dos custos, mas também de como os benefícios ambientais são distribuídos entre a população. Podem-se citar dois tipos de benefícios ambientais associados à taxação de carbono. O primeiro diz respeito à redução das emissões de gases de efeito estufa e, por conseguinte, dos danos relacionados à mudança climática. Os benefícios da mitigação da mudança climática são globais e de longo prazo, e assim, podem ser considerados proporcionalmente distribuídos entre a população de um país. O segundo benefício ambiental parte da redução do consumo de combustíveis fósseis, que tem efeitos potenciais sobre a qualidade do ar local, através da redução das emissões de poluentes atmosféricos como particulados, óxidos de nitrogênio e enxofre. Em comparação aos benefícios da mudança climática, estes benefícios são sentidos a nível local e no curto prazo. Portanto, eles são desigualmente distribuídos entre a população, como por exemplo, entre as famílias rurais e urbanas. Neste

tópico, pelo que se conhece, não há estudos que incluem esses benefícios aos impactos distributivos, notadamente porque tais benefícios são incertos e difícil mensuração, especialmente em termos monetários.

- 4) O uso das receitas geradas a partir de uma taxa de carbono poderia reduzir “*ex-post*” os potenciais impactos regressivos sobre a população. Neste contexto, as opções variam desde uma redistribuição *lump-sum* à redução de impostos distorcivos tais como os que incidem sobre o trabalho e valor adicionado.

A maioria dos estudos empíricos mostram que a imposição de um preço sobre o carbono é geralmente regressiva, no qual as famílias de menor renda pagam uma parcela relativamente maior de sua renda com os impostos. Encontra-se exemplos para a Irlanda (VERDE e TOL, 2009), o Reino Unido (FENG et al., 2010), a França (BUREAU, 2011) e os Estados Unidos, (RAUSCH, METCALF e REILLY, 2011). Alguns outros resultados, no entanto, apontam para um impacto progressivo de um imposto de carbono sobre as famílias, mesmo sem redistribuição de receitas (BARKER e KOHLER, 1998), inclusive em alguns países em desenvolvimento. Brennera *et al* (2007) e Ojha (2011) retratam que um imposto de carbono teria impactos menos intensos sobre as famílias de baixa renda na China e Índia, respectivamente (SHIM, 2011). Esta tese também procura contribuir com esta literatura ao estimar o impacto sobre as famílias no Brasil, distribuídas em decis de renda.

2.2 Metas de redução de emissões via mercados de carbono

Os mecanismos de mercado podem ser efetivados sobre duas formas principais: i) aquelas destinadas a alterar o nível dos preços relativos (por exemplo, através de impostos) e ii) aqueles que atribuem “direitos de propriedade”²¹. O mercado de carbono tem a vantagem de aliar estas duas formas economicamente mais efetivas para correção das externalidades, como é o caso das emissões de GEE.

Um imposto estabelece um preço para as emissões de CO₂, partindo do pressuposto que esta elevação de preço relativo deveria resultar na redução das emissões. Uma alternativa para se garantir isso é dar aos agentes “direitos de propriedade” sobre a emissão de GEE. Os “direitos de propriedade” são alocados entre os agentes sob a forma de certificados ou licenças de emissão, criando uma nova mercadoria. A partir da alocação inicial, os agentes passam a transacionar tais licenças. O preço destes certificados é determinado endogenamente pelos mecanismos de mercado (oferta e demanda). A ideia por detrás do instrumento de “*cap-and-trade*” é que ele permite que as instituições abrangidas (firmas, governos) que possuem licenças de emissão em excesso – emissões permitidas a eles, mas não utilizadas – possam vender este excesso a outras que tenham excedido a sua capacidade de emissões. O comércio surge, então, pois as instituições enfrentam custos diferentes para o abatimento de emissões. O conceito de permissões negociáveis de emissão parte do pressuposto que “emissores com maiores custos de abatimento terão preferência por comprar algum tipo de permissão de emissão do que propriamente realizar o abatimento das emissões e vice-versa...”, permitindo o surgimento de um mercado potencial de certificados de redução de emissões (PEREIRA e MAY, 2003). A vantagem da criação de um mercado de carbono é que o comércio de emissões oferece uma maior eficiência na

²¹ A atribuição de “direitos de propriedade” foi primeiramente proposta por Coase (1960). O teorema de Coase sugere que os problemas envolvendo a degradação ambiental podem ser resolvidos, desde que se defina a quem pertence o direito sobre a utilização do recurso a ser degradado. Não havendo custos de transações entre as partes, a livre negociação entre os agentes deverá levar a um nível ótimo de externalidades, neste caso, de emissões de GEE.

redução das emissões dado seus menores custos. (BAUMOL e OATES, 1988, HAHN e STAVINS, 1999, REQUATE, 2005).

Outro ponto a favor do mecanismo de *cap-and-trade* é que confere aos governos um instrumento de distribuição – a atribuição inicial de licenças – que estaria ausente em uma simples taxação de carbono (McKIBBIN e WILCOXEN, 2002). Esta alocação pode ser gratuita ou por leilão. Além disso, a definição do imposto de carbono correto pela política envolve grandes dificuldades, pois implica estimar custos e benefícios da política.

Os sistemas de “*cap-and-trade*”, ao estabelecer direitos de propriedade para as emissões, institucionalizam penalidades para os que não cumprem as metas acordadas. Com o estabelecimento de incentivos financeiros para o controle de emissões e flexibilidade para determinar como e quando as emissões serão reduzidas, a meta de emissões é obtida de maneira que minimiza os custos. Defensores da arquitetura de “*cap-and-trade*” também costumam destacar que o mecanismo é tecnologicamente neutro, deixando as decisões de investimento na redução de emissões para o mercado e não para a esfera política (BEHER, 2007).

Inúmeros estudos tentaram quantificar os custos das metas acordadas no Protocolo de Quioto e também estimar a importância do mercado de carbono para seu cumprimento.

Nordhaus (2008) estima que o preço do carbono no mercado mundial em 2025 poderia ir de US\$ 53,15 (no caso do fortalecimento do protocolo de Quioto, com a participação dos Estados Unidos e da China) a US\$264,73 se a meta de redução de emissões acordada fosse de 90%. O IPCC, com base em uma revisão de modelos, relata que preços de carbono na faixa de 20 a 50 US\$/tCO₂, alcançados globalmente de 2020 a 2030 poderiam representar significativas reduções de emissões até meados do século XXI consistente com a estabilização em torno de 550 ppm CO₂-e, se implementadas de forma estável e previsível (IPCC, 2007). Num trabalho mais recente, Del Elzen *et al* (2009) mede os custos e preços de carbono para cenários com diferentes metas de redução de emissões. Os custos globais da mitigação abrangem reduções no PIB mundial em torno de -0.10 a -0.44% em 2020 com preços de carbono variando entre US\$26 a US\$88/tCO₂ (dólares de 2005).

Revisões de literatura sobre modelos de projeção que buscaram avaliar os impactos do mercado de carbono dentro dos moldes do Protocolo de Quioto podem ser encontradas em Weyant, 1996; Springer, 2003 e Clarke *et al*, 2009. Conforme aponta Springer (2003), diferentes tipos de modelos assim como diferentes projeções de crescimento de emissões são as principais razões pelas quais se encontra uma ampla diferença entre os resultados. Um resultado comum a todos os estudos, entretanto, e ponto favorável a políticas do mercado de carbono é o alcance das metas do Protocolo a um custo econômico menor.

Os modelos cobertos por Springer (2003)²² mostram estimativas de preços de carbono mundiais que diferem consideravelmente, variando de US\$ 3/tCO₂ a US\$ 74/tCO₂ (a preços de 2000), sob um cenário comum, em que apenas países do Anexo I comercializam permissões. O custo marginal tem uma redução considerável quando se aplica o cenário de comércio entre todos os países, com a possibilidade inclusive de mecanismos de flexibilidade. Neste caso, o preço do carbono se situa entre US\$ 1/tCO₂ a US\$ 22/tCO₂, com um maior volume de permissões negociadas. Na revisão de estudos realizada por Clarke *et al* (2009)²³, por sua vez, os custos de uma política de carbono global para manter o nível de 550 ppm de CO₂-e, podem variar entre 3.8 trilhões de dólares a 64.5 trilhões (2005), dependendo do cenário e modelo utilizados. O preço do carbono, por sua vez, estaria entre \$4/tCO₂ a \$256/tCO₂ a preços de 2005 em 2020. Além disso, os países em desenvolvimento, com especial atenção aos BRICs (Brasil, Rússia, Índia, China), podem se beneficiar em um cenário em que sejam incluídos no comércio de emissões. Estimativas apontam ganhos potenciais de cerca de US\$ 10 trilhões. Isto poderia ser um incentivo suficiente para que os países em desenvolvimento participassem ativamente do comércio de permissões de emissões com metas obrigatórias, em vez de participar apenas do comércio mais restrito do MDL (TOL, 2009). Soma-se a este ganho uma significativa redução de emissões globais com a inclusão do China no mercado de carbono, embora nas estimativas

²² Bernstein *et al.* (1999b), Bollen *et al.* (1999), Capros (1999), Ciorba *et al.* (2001), Cooper *et al.* (1999), Criqui and Viguier (2000), Ellerman *et al.* (1998), Kainuma *et al.* (1999), Kurosawa *et al.* (1999), Manne and Richels (2000), McKibbin *et al.* (1999b), Nordhaus and Boyer (1999), Stevens and Rose (2002), Sijm *et al.* (2000), Tulpule *et al.* (1999), van der Mensbrugghe (1998).

²³ A revisão de trabalhos propostos por Clarke *et al.* (2009) cobre os modelos desenvolvidos no âmbito da EMF 22: Loulou *et al.* (2009), Gurney *et al.* (2009), van Vliet *et al.* (2009), Blanford *et al.* (2009), Krey and Riahi (2009), Calvin *et al.* (2009), Russ *et al.* (2009), Calvin *et al.* (2009) e Bosetti *et al.* (2009).

também se verifique uma diminuição do bem-estar nesse país (KEMFERT e KREMERS, 2003).

Vários trabalhos analisaram o efeito da não ratificação do Protocolo pelos EUA em 2001 (HAGEM e HOLTSMARK, 2001; LOSCHEL e ZHANG, 2002; MANNE e RICHEL, 2001; BUCHNER *et. al.*, 2002). A ausência de maior comprador potencial de licenças reduz o preço das permissões para um valor próximo a zero em 2010 num cenário de comércio internacional de certificados. Den Elzen e de Moor (2002), por sua vez, concluem que a saída dos EUA teve um grande impacto sobre a efetividade ambiental do Protocolo de Quioto.

Embora exista um consenso entre a maioria dos economistas de que a precificação de carbono (através de um imposto ou sistema de licenças negociáveis) seria o incentivo mais eficiente para a mitigação da mudança climática, a diversidade das políticas existentes sugere que outras forças também estão em jogo. Primeiramente, as políticas de precificação, em geral, impõem custos sobre a atividade econômica, principalmente nos setores intensivos em energia, e acabam tendo pouco suporte político. Em segundo lugar, o aumento dos preços dos bens intensivos em carbono pode ter importantes consequências distributivas, afetando negativamente consumidores e famílias de mais baixa renda. Terceiro, falhas de mercado, tais como assimetrias de informação, problema do agente principal e custos de transação, implicam que a precificação por si só não é uma condição suficiente para lidar com o problema das emissões globais de efeito estufa. Nesta conjuntura é que entram em cena as políticas públicas que buscam incentivar e financiar programas de desenvolvimento e inovação tecnológica, como por exemplo, os programas destinados ao incentivo de medidas de eficiência energética, que tem sido utilizado como uma ferramenta importante dentro das políticas propostas para uma economia de baixo carbono. Por sua relevância, a próxima seção aborda esse tema.

2.3 Políticas de melhoria da eficiência energética

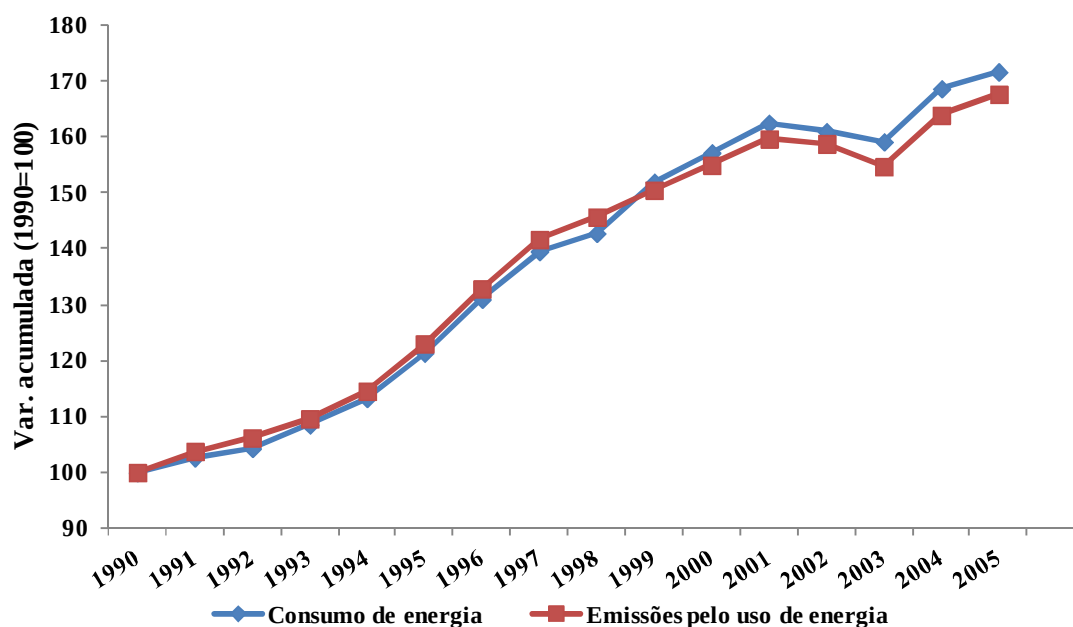
A eficiência no uso da energia está em pauta desde os choques do petróleo na década de 1970, quando ficou patente que as reservas fósseis não seriam baratas para sempre, nem o seu uso ocorreria sem prejuízos para o meio ambiente (EPE, 2007). Logo se descobriu que o mesmo “serviço de energia” - como, por exemplo, iluminação e os usos que a energia proporciona, como aquecimento, condicionamento, equipamentos eletroeletrônicos - poderia ser proporcionado com menos gasto de energia. Equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser analisados também sob o ponto de vista de sua eficiência energética, verificando-se que muitos deles eram “economicamente viáveis”, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia evitada. Estas medidas – uso de equipamentos e hábitos que provocam menor uso da energia para auferir o mesmo serviço prestado – receberam o nome de “medidas de eficiência energética” (EPE, 2007). Em outras palavras, melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia necessário para produzir um determinado serviço de energia (PATTERSON, 1996).

Melhorar a eficiência energética, nos dias atuais, não tem sido apontado apenas como uma ação fundamental para a redução da dependência energética, aumento da segurança no fornecimento de energia e de sustentabilidade (STERN, 2007). A eficiência e conservação de energia tem assumido uma importância renovada com o fortalecimento das evidências das mudanças climáticas. Estas preocupações colocaram a eficiência energética como um dos mecanismos chaves para cumprir os objetivos de redução de emissões de GEE. Em tempos de crise econômica, formas de conservação de energia e eficiência constituem uma das principais opções do setor energético para lidar com esses desafios. No caso brasileiro, a necessidade de desenvolvimento de uma “economia de baixo carbono” atrelado ao papel relevante que a energia elétrica desempenha e as dificuldades econômicas e ambientais para a expansão do sistema elétrico menos intensivo em carbono, como as hidroelétricas, colocam o uso mais eficiente de energia como uma provável alternativa, seja pelo seu custo mais baixo de implantação, seja pela ausência de impacto ambiental (EPE, 2007). A chave para a existência de todos estes benefícios reside no fato de que as pessoas não consomem

energia, mas sim serviços energéticos. Então é possível fornecer o mesmo nível de serviços energéticos com um menor uso ou consumo de energia (LINARES e LABANDEIRA, 2010).

Conforme aponta Linares e Labandeira (2010), embora a conservação de energia não seja a política central para a resolução dos problemas ambientais, ela pode contribuir significativamente para a efetividade de políticas de mitigação das emissões. A figura 3, neste contexto, ilustra a correlação entre o consumo de energia e as emissões pelo seu uso, no Brasil.

FIGURA 3 - Consumo de energia e Emissões de CO₂ pelo seu uso. Brasil 1990-2005
(Base:1990)



Fonte: Climate Analysis Indicators (World Resources Institute, Washington, DC) e Eletrobras.

Há um consenso de que eficiência energética é a maneira mais rápida, barata e sustentável de fornecimento de energia para o desenvolvimento sustentável e de mais baixo carbono (UNCTAD, 2009). O IPCC (IPCC, 2007), por exemplo, estima que 7 a 14% das emissões

globais de GEE poderiam ser mitigadas a custos negativos com medidas de conservação e eficiência energética.

As melhorias de eficiência energética podem ser resultado do progresso tecnológico em curso, como resposta a preços crescentes de energia (ou de carbono), que induzem os agentes à inovação. Além disso, os governos podem implementar uma ampla gama de políticas tecnológicas e programas, como o financiamento a P&D, que visem o desenvolvimento de produtos mais eficientes energeticamente (células de combustível, carros híbridos, dentre outras), incentivos financeiros para acelerar o desenvolvimento e adoção de medidas de eficiência energética, assim como a instituição de padrões em setores e residências (AZAR, 2010, GELLER, 2005).

Os defensores do uso de padrões e regulamentações argumentam que normas ajudam a resolver uma série de falhas de mercado. A aplicação de padrões de eficiência energética, se implementados com cuidado, podem reforçar as políticas via mecanismos de mercado custo-eficientes. Os proponentes de políticas e programas de eficiência energética se baseiam no fato de que uma maior eficiência energética poupa recursos de consumidores e empresas e garante a autossuficiência, reduzindo os impactos ambientais adversos associados com a produção, conversão e utilização de energia. Vale enfatizar ainda que o uso eficiente de energia reduz os custos de produtos e serviços, elevando a produtividade e competitividade em diversos setores econômicos. Em particular, pode proporcionar benefícios sociais, tais como aumento do emprego, redução dos custos de energia enfrentados pelas famílias de baixa renda, reforço à segurança nacional e conservação de recursos finitos, como petróleo e gás natural (GELLER, 2005).

Em contrapartida, podem-se encontrar algumas ressalvas na literatura, em relação às políticas e programas de incentivo à eficiência energética. A principal delas é denominada “*rebound effect*” (KHAZZOOM, 1980, BROOKES, 1990 e GREENING *et al* , 2000 para uma resenha). Refere-se ao aumento da procura por serviços de energia (refrigeração, iluminação, etc), quando o custo do serviço diminui como resultado de melhorias técnicas em eficiência energética. Devido ao menor custo, os consumidores e as empresas mudam seu comportamento adquirindo mais eletrodomésticos ou operando-os com maior frequência, por exemplo. Esta mudança de comportamento acaba por corroer a economia de

energia alcançada devido a maior eficiência, e consequentemente, minimizar os resultados sobre a redução das emissões de GEE.

Três causas são apontadas para explicar este efeito. A primeira refere-se ao efeito preço. A melhoria da eficiência energética traz consigo uma redução implícita nos custos, ou nos preços efetivos. Se a elasticidade preço da demanda for elevada, a queda do preço vai resultar em aumento do consumo. A segunda razão diz respeito ao efeito renda. Se os preços dos bens energéticos diminuem, o consequente aumento na renda disponível permite que os consumidores adquiram outros produtos, que podem estar relacionados a um maior consumo de energia. A última causa, por fim, relaciona-se a efeitos macroeconômicos. Neste sentido, quando há mudanças nos preços efetivos de energia, os preços relativos dos insumos produtivos também mudam, alterando o uso dos mesmos, favorecendo, por exemplo, os setores mais intensivos em energia. Adiciona-se ainda o fato de que um aumento na eficiência estimula o crescimento econômico, que tem repercussões sobre a demanda de energia (LINARES e LABANDEIRA, 2010).

O segundo paradoxo concernente a políticas de eficiência é conhecido na literatura como “gap da eficiência energética” e baseia-se no fato de que medidas efetivas não tem sido amplamente implementadas, apesar dos aparentes benefícios socioeconômicos e ambientais inerentes. Não obstante, as razões de baixos investimentos em eficiência e conservação não são claras, o que, por sua vez, implica que não estão claras quais seriam as políticas mais adequadas para promovê-la. (LINARES e LABANDERA, 2010).

CAPÍTULO 3 - A experiência com políticas de redução de emissões: exemplos, resultados e lições para o Brasil

Como forma de complementar a análise teórica realizada nas seções anteriores, esta seção faz uma apreciação da experiência internacional quanto às políticas analisadas, como a taxação de carbono, mercados de carbono regionais ou nacionais e políticas de melhorias na eficiência energética. Por fim, a última subseção traz implicações dessas experiências para o caso brasileiro.

3.1 Políticas de taxação de carbono

A política de taxação de carbono existe internacionalmente há cerca de 20 anos. Finlândia, Dinamarca, Suécia, Holanda e Noruega foram os primeiros a adotar impostos sobre o carbono nos anos 1990 e, como tal, servir de base para políticas na Austrália, Nova Zelândia, Canadá e no estado do Colorado (EUA). Esta seção analisa as principais experiências da adoção de políticas de taxação de carbono pelo mundo²⁴. O quadro 1, dessa forma, descreve, em termos gerais, as principais características das políticas implementadas.

Na década de 1990, uma série de países do norte europeu implementaram taxas de carbono para limitar suas emissões de gases de efeito estufa (ANDERSEN, 2004). Conforme já mencionado, um sistema de taxação ideal para as emissões de CO₂ requer um imposto de carbono uniforme para todas as fontes. No entanto, uma característica comum da tributação ambiental europeia é o fato de apresentar setores que são excluídos da cobrança e também diferenciação dos impostos cobrados a cada setor (EKINS e SPECK, 1999).

²⁴ Esta seção se baseia nos trabalhos de Andersen (2010), Sumner et. al (2009) e Aldy et.al (2009) que analisam as principais experiências com políticas de taxação de carbono.

QUADRO 1 - Experiências internacionais de políticas de taxaço de carbono

Região	Data de início da política	Taxa de imposto	Receita anual	Distribuição da receita
Finlândia	1990	US\$30/ton CO2	US\$750 milhões	Orçamento governamental; acompanhado de cortes independentes nos impostos sobre a renda
Holanda	1990	US\$20/ton CO2 em 1996	US\$4.819 bilhões	Reduções em outras taxas; programas de mitigação climática
Noruega	1991	US\$15,93 a US\$ 61,76/ton CO2	US\$900 milhões	Orçamento governamental
Suécia	1991	US\$23.04/ton CO2 para indústria e US\$104.83/ton CO2 para demais setores	US\$3.665 bilhões	Orçamento governamental
Dinamarca	1992	US\$16.41/ton CO2	US\$905 milhões	Subsídios ambientais e redistribuição para a indústria
Reino Unido	2001	US\$0.0078/kWh para eletricidade; US\$0.0027/kWh para gás natural; US\$0.0175/kg para GLP e US\$0.0213/kg para combustíveis sólidos	US\$1.191 bilhões	Reduções em outras taxas
Boulder, Colorado (EUA)	2007	US\$12-13/ton CO2	US\$846 mil	Programas de mitigação climática
Quebec (Canadá)	2007	US\$3,20/ton CO2	US\$191 milhões	Programas de mitigação climática
British Columbia (Canadá)	2008	US\$9,55/ton CO2 em 2008, aumentando US\$4,77 anualmente para US\$28,64 em 2012	US\$292 milhões	Reduções em outras taxas
Califórnia (EUA)	2008	US\$0.045/ton CO2-e	US\$1.1 milhões	Programas de mitigação climática

onte: Adaptado de Sumner *et al* (2009).

3.1.1 Finlândia

A Finlândia foi o primeiro país a instituir a tributação de carbono do mundo, em 1990. O imposto se aplica aos principais combustíveis fósseis, como gasolina, diesel, óleo combustível, querosene e gasolina de aviação, carvão e gás natural. Como outros países, a Finlândia reduziu sua taxa de carbono para alguns setores, refletindo preocupações sobre os impactos adversos sobre a competitividade internacional. Desde 2008, a taxa de carbono é de cerca de US\$ 28/tCO₂, embora se verifique taxas diferenciadas entre os combustíveis. Navios comerciais e tráfego aéreo comercial, bem como os combustíveis utilizados para a eletricidade são isentos. A eletricidade também é tributada, mas a taxa por kWh não varia de acordo com o teor de carbono. As receitas, provenientes da tributação, chegam a aproximadamente US\$ 750 milhões por ano, que é absorvida inteiramente pelo orçamento geral, sem qualquer redistribuição (Sumner *et al*, 2009, Aldy *et.al*, 2008).

3.1.2 Holanda

A política de taxação de carbono da Holanda também teve início em 1990, e foi aplicada aos setores de eletricidade, siderurgia, refino de petróleo e gás, gás natural e aos combustíveis, gasolina e diesel. Em 1996, a taxa de imposto foi equivalente a US\$ 20 por tonelada de CO₂, que gerou uma receita total anual de US\$4,8 bilhões. A política holandesa utiliza as receitas provenientes da taxação para a redução da carga tributária geral para pessoas físicas e empresas, bem como para o financiamento de programas de mitigação de GEE. Parte da receita é redistribuída para as empresas na forma de amortizações aceleradas para equipamentos ambientais e dedutibilidade de impostos referentes aos investimentos em energia. De acordo com estimativas do Ministério de Planejamento do país a política contribuiu com uma redução de 5% das emissões de CO₂ desde sua implantação (SUMNER *et al*, 2009)

3.1.3 Noruega

A Noruega introduziu impostos de carbono em 1991, e nos anos posteriores se configurou como a principal política climática do país. As taxas de impostos variam de US\$ 15,93/tCO₂ a US\$61/tCO₂. No setor de transportes, até 2009, o imposto era equivalente a US\$ 58/tCO₂ sobre a gasolina e US\$ 34/tCO₂ sobre o diesel. Em 1999, as instalações que utilizavam carvão para fins energéticos e fins siderúrgicos arcavam com uma taxa de US\$ 24/tCO₂ e US\$ 19/tCO₂, respectivamente (BRUVOLL e LARSEN, 2004), embora o governo da Noruega tenha isentado estas atividades a partir de 2003. Neste mesmo ano, foi introduzido um imposto sobre as emissões de HFCs e PFCs de US\$ 33/tCO₂-e, que contribuiu para uma diminuição importante da taxa de crescimento destes gases. Outros setores, porém, tem taxas reduzidas ou isenção. Nesta categoria, enquadram-se o setor de celulose e papel, aviação doméstica e transporte marítimo. Em 2009, a política cobria cerca de 55% do total de gases de efeito estufa do país (UNFCCC, 2011).

Bruvoll e Larsen (2004) verificaram que durante o período 1990-2000, apesar de aumentar o total de emissões de CO₂ no país, a intensidade de carbono foi significativamente reduzida. Mudanças na estrutura energética reduziram as emissões de CO₂ em 14%, mas apenas 2% foram atribuídas à aplicação da taxa de carbono, dado que na implementação houve isenção para indústrias intensivas em energia. Entretanto, o imposto implicou ganhos de eficiência industrial, dado que as emissões por unidade de produção diminuíram 22% em 2003 se comparados a 1991, início da política. A Noruega também tem promovido a inovação tecnológica, com especial ênfase para os equipamentos de sequestro de carbono. Em 1996, a StatoilHydro, empresa que opera um campo de gás natural, desenvolveu um projeto de sequestro e armazenamento de carbono no fundo do mar. O projeto, que custou cerca de US\$ 200 milhões, já poupou à empresa cerca de US\$ 60 milhões em impostos de carbono a cada ano e tem armazenado cerca de 1 milhão de toneladas de CO₂ anualmente desde 1996 (ABBOUD, 2008).

3.1.4 Suécia

No mesmo ano, a Suécia implantou um imposto de carbono médio de cerca de US\$ 44/tCO₂ como parte de uma política climática. Alguns setores, incluindo a indústria, agricultura, co-geração de energia, silvicultura e aquicultura pagam uma proporção menor do imposto. Refino de petróleo, siderurgia e outras indústrias de metal são isentas do imposto (DAUGJBERG e PEDERSEN, 2004). Vários estudos procuraram avaliar a efetividade da política de taxaço do país. Johansson (2000) estima que as emissões de CO₂ caíram cerca de 15% entre 1990 e 1996 devido ao imposto. Entre 1990 e 2006, esta queda ficou em 9%, segundo o Ministério do Meio Ambiente do país (Sumner *et al*, 2009). Grafstrom (2010) também mensurou os impactos reais da política de taxaço, avaliando reduções no setor residencial. A Suécia é um dos poucos países no mundo que tem reduzido suas emissões de carbono desde 1990, como resultado de políticas climáticas deliberadas (AZAR, 2010). Essas reduções, entretanto, poderiam ser mais intensas se as taxas aplicadas fossem mais uniformes entre os setores. Bohlin (1998) e Harrison e Kristrom (1997), por exemplo, verificam que taxas diferenciadas e exceções na tributação comprometem o alcance de reduções mais efetivas do país, impondo custos adicionais ao alcance das metas. O impacto sobre o setor de transportes foi significativo. Contudo, no setor industrial, o imposto não conseguiu reduzir o consumo de petróleo e gás natural, devido à menor taxa.

3.1.5 Dinamarca

A cobrança de impostos de carbono na Dinamarca entrou em vigor em 1992, sendo aplicadas principalmente sobre combustíveis fósseis, a uma taxa média de US\$ 16,41/tCO₂. Em 2008, as receitas com o imposto foram de aproximadamente US\$ 905 milhões.

Na Dinamarca, a indústria melhorou sua intensidade energética em quase 30% entre 1990 a 2000. Um aspecto particular é que se estimam significativos impactos sobre a produtividade energética, especialmente em decorrência da política de distribuição de 20% da receita arrecadada para o financiamento de medidas de eficiência energética e inovação

tecnológica. Estes fundos eram geridos pela Agência de Energia e auditores independentes eram responsáveis por relatórios de desempenho e recomendações de melhorias em cada empresa.

3.1.5 Inglaterra

A política climática no Reino Unido teve início em 2001, e especifica diferentes taxas sobre os setores de geração de eletricidade, gás natural, GLP e outros hidrocarbonetos. As taxas se aplicam ao fornecimento de energia no setor industrial, comercial, agropecuário e público. As receitas entre 2006 e 2007 alcançaram US\$1,191 bilhões. Um estudo realizado pela Cambridge Econometrics (2005) estima que, até 2010, a política conseguiu diminuir a demanda de energia em aproximadamente 15% (ou 12,8 milhões de toneladas de carbono) nos setores comercial e público (SUMNER *et al.*, 2009).

3.1.6 Austrália

A Austrália introduziu em 2012, a tributação sobre o conteúdo de carbono, como forma de tomar medidas mais efetivas para a redução das emissões de GEE. A lei força cerca de 300 empresas a pagar uma taxa de US\$ 24/tCO₂-e, que incide sobre todos os setores, com exceção da agricultura, silvicultura e florestas. A meta é atingir um corte de 159 milhões de toneladas de CO₂ até 2020.

3.1.7 Demais regiões

Experiências regionais podem também ser encontradas na cidade de Boulder (Colorado) e Califórnia nos Estados Unidos, Quebec e British Columbia, no Canadá, como estão sumarizados no Quadro 1.

3.2 Políticas baseadas em mercados de carbono

O sistema internacional de permissões negociáveis de GEE no âmbito do Protocolo de Quioto pode ser entendido como sendo constituído por dois sistemas distintos: programas

de comércio de emissões (“*cap-and-trade*”), e programas de créditos de redução. No sistema de “*cap-and-trade*”, alocam-se um número de permissões no mercado igual a uma meta estipulada. Há basicamente três mecanismos dentro do Protocolo para os países com metas de redução de emissões: o primeiro é regulamentado pelo artigo 17 que permite a comercialização de permissões entre os países; o segundo, por sua vez, permite um sistema de permissões negociáveis entre empresas privadas de um mesmo país e o terceiro mecanismo possibilita transações entre nações e empresas privadas de diferentes países com metas de emissão. A licença de emissão para estes mecanismos é conhecida como “*Assigned Amount Unit*” (AAU). Com relação aos programas de créditos de emissões, o Protocolo de Quioto explicita dois mecanismos de flexibilização: certificados de reduções de emissões alcançadas em projetos de países em desenvolvimento e vendidas aos países industrializados sob as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e o intercâmbio de projetos entre entidades privadas dos países com metas de redução, denominado Implementação Conjunta (IC). Os respectivos certificados são o *Certified Emission Reduction* (CER) – ou Redução Certificada de Emissão - e *Emission Reduction Units* (ERU) – ou Unidades de Redução de Emissão. (HAHN e STAVINS, 1999; METCALF e WEISBACH, 2010).

A popularidade crescente do comércio de emissões levou ao surgimento de diversos mercados de carbono durante a última década. Com a adoção do Protocolo de Quioto, a comunidade internacional estabeleceu o primeiro sistema internacional de permissões negociáveis para o período de 2008 a 2012. Este sistema cobre as emissões de 37 países (Anexo I), que representam cerca de 30% das emissões globais. Em seu primeiro ano de operações os governos transacionaram licenças de emissão (AAU) no valor total de US\$ 276 milhões, subindo para cerca de US\$ 2 bilhões em 2009 (WORLD BANK, 2010; 2011). Já o mercado de créditos de redução (IC e MDL), que permitem a participação dos países em desenvolvimento, movimentou em 2008 um volume de US\$ 6,5 bilhões. Em 2009, verificou-se uma queda expressiva deste valor (US\$ 2,6 bilhões), em decorrência, sobretudo, da crise econômica mundial iniciada em 2007 (WORLD BANK, 2010; 2011 e BEHR, 2009).

Embora o ambiente regulatório internacional permaneça incerto, o Protocolo de Quioto lançou as bases para um mercado global de carbono, constituído por iniciativas nacionais e locais que têm visivelmente se mostrado como um potencial para superar a lacuna de regulamentação internacional. Vários destes mercados se integram aos mecanismos de flexibilidade regulamentados pelo Protocolo de Quioto, tais como o MDL e Implementação Conjunta (IC). Os mercados de carbono de escala regional têm crescido em importância, servindo como exemplo para novas propostas. Em geral, nessa dimensão, o comércio de permissões é realizado entre firmas do setor energético. A proliferação recente de iniciativas nacionais ou regionais no sentido de criação de mercados de carbono atesta a elevada prioridade política dada a este instrumento, com o reconhecimento das suas vantagens de eficiência econômica e como instrumento indutor à inovação tecnológica e a uma economia de baixo carbono (PEREIRA e GUTIERREZ, 2010).

A mais proeminente destas iniciativas é o mercado de carbono da União Europeia (EU-ETS, acrônimo em inglês de “*European Union’s Emission Trading System*”). Dada sua dimensão e complexidade institucional, a EU ETS tem sido tomada como o “Grande Exemplo” para programas baseados no mercado, que tem como meta uma economia de baixo carbono (KRUGER e PIZER, 2004). Seu desempenho pode ser crucial para as perspectivas de um sistema global de comércio de gases de efeito estufa e para formuladores de políticas ambientais em todo mundo. A relevância do programa explica o grande interesse da comunidade acadêmica em tirar lições das experiências reais do comércio de emissões, incluindo questões-chaves como regras de alocação de permissões, financiamento, poder de mercado das firmas, provisões para monitoramento, informação e verificação, implicações sobre a competitividade de empresas e setores e a eficácia ambiental global das políticas unilaterais (BOHRINGER e ROSENDAHL, 2009).

3.2.1 EU ETS – União Europeia

O mais importante mercado de carbono em operação é o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU-ETS - European Union's Emissions Trading System). Com preços das permissões variando em média entre €10 e €30/tCO₂ desde o lançamento do programa (2005), o valor das licenças emitidas ao ano é de cerca de €22 a €66 bilhões, valor muito acima dos programas anteriores de comércio de emissão de óxido de nitrogênio – NO_x - (€1.1 bilhões) ou de dióxido de enxofre - SO₂ - (€2.8–8.7 bilhões) que foram bem sucedidos nos EUA²⁵ (GRUBB e NEUHOFF, 2007).

A criação do EU ETS, em 2003, teve como principal objetivo ajudar a Comunidade Europeia e seus Estados-Membros a alcançar suas metas de emissões de gases de efeito estufa (8% de redução em relação a 1990) sob o princípio de custo-efetividade dentro do Protocolo de Quioto.

Quando o sistema foi lançado em janeiro de 2005, sua primeira fase englobou unidades industriais em 15 Estados Membros da UE, representando cerca de 45% das emissões de dióxido de carbono da Europa. Atualmente, conta com os 27 estados membros além de Irlanda, Noruega e Liechtenstein e espera reduzir o total de emissões em 21% em 2020, comparado aos níveis de 2005. Para ampliar o mercado internacional de comércio de emissões, a EU ETS está aberta ao estabelecimento de ligações formais com sistemas de “*cap-and-trade*” de outras partes do mundo, inclusive com mecanismos de flexibilidade, tais como o MDL e Implementação Conjunta.

Em termos de abrangência setorial, o sistema cobre cerca de 12.000 unidades nos setores de geração de energia e indústria. A partir de 2012 é esperada a inclusão das emissões originadas do setor de aviação e transporte.

Uma licença de emissão - que mais especificadamente é chamada de “*European Union Allowances* (EUAs)” - dá o direito de emitir uma tonelada de CO₂ equivalente. Estas

²⁵ Em termos de eficiência ambiental, de 2005 a 2007, primeira fase do programa, as emissões de CO₂ foram reduzidas em 2.2 bilhões de toneladas anuais (GRUBB & NEUHOFF, 2007).

permissões são distribuídas para as firmas de acordo com “Planos Nacionais de Alocação”, que são determinados através de negociações entre membros de estado e firmas e então submetidas para a aprovação da Comissão Europeia. Nos “Planos Nacionais de Alocação”, cada estado membro deve definir o limite máximo de emissões para cada empresa incluída no comércio de permissões, bem como especificar a regra de atribuição de licenças. Ademais, políticas complementares de redução de emissões devem ser realizadas em setores não cobertos pelo regime de comércio. Mesmo tendo como objetivo o princípio de custo-eficiência, cada estado-membro deve responder por duas restrições centrais na concepção dos planos nacionais: i) a atribuição das licenças de emissão dentro dos setores deve ser majoritariamente gratuita, notadamente nos primeiras fases do regime e ii) distorções que envolvam um tratamento diferente em instalações idênticas (firmas ou setores) entre os países devem ser evitados (GERSBACH e WINKLER, 2011; BOHRINGER *et al.*, 2005).

O EU-ETS pode ser analisado em três fases. A primeira, que compreendeu o período de 2005 a 2007, foi bem sucedida ao estabilizar o preço do carbono, o livre comércio de licenças de emissão na UE e a infraestrutura necessária para o monitoramento, comunicação e verificação das emissões das empresas abrangidas. A geração de dados anuais de emissões preencheu uma lacuna de informação importante, criando uma base sólida para definir as metas relativas à atribuição de licenças de emissão nacionais (EU, 2009).

Durante a sua primeira fase (2005-2007), a EU-ETS não conseguiu alcançar uma redução considerável das emissões de gases de efeito estufa em comparação com as emissões projetadas pelo cenário “*business-as-usual*” (2 a 5% de redução no período). Este resultado pode ser explicado pelo próprio período experimental desta fase inicial, em que o processo de aprendizagem está em curso. Questões organizacionais e institucionais atreladas a altos custos de transação ajudam explicar uma menor efetividade nesta fase (GERSBACH & WINKLER, 2011, WORLD BANK, 2010).

A fase 2 (2008-2012), por sua vez, corresponde ao período em que a UE e os estados membros devem cumprir as metas de emissões regulamentadas pelo Protocolo de Quioto. No caso do não cumprimento das metas, as firmas teriam que arcar com sanções financeiras

que vão de 40 €/ton CO₂-e mais a compra das licenças faltantes na Fase I e 100 €/ton CO₂-e mais a compra das licenças faltantes na Fase II (EU, 2009).

A partir do EU-ETS, as empresas têm alcançado reduções reais de emissões. Até 2010, as emissões de GEE dos setores cobertos pelo esquema caíram em média 8,3% desde o início do sistema em 2005 (EU, 2011). Este fato é fundamental para a viabilidade política da EU-ETS. Como resultado, as empresas do setor energético começaram a integrar o custo de carbono em suas decisões de investimento, incluindo tecnologias de baixo carbono, como turbinas a gás, carvão de alta eficiência e energia eólica (WORLD BANK, 2010).

A fase 3 que compreende um período mais longo (2013-2020), tem por objetivo ter regras mais harmonizadas, oferecendo uma maior previsibilidade e transparência para os operadores de mercado como forma de alcançar maior credibilidade internacional (EU, 2009).

Kruger *et al* (2007), Convery e Redmond (2007), Flaschland (2008) discutem os aspectos estruturais, problemas e resultados obtidos com o EU ETS. Alguns pontos se destacam por contribuir para o sucesso do sistema. Como um agente de coordenação, a Comissão Europeia contribuiu para o sucesso do programa, principalmente ao impor escassez e garantir a negociação. A Comissão impôs escassez por meio de uma revisão para baixo no número de licenças propostas pelos estados membros. E assegurou o comércio rejeitando propostas por parte dos países membros que permitiriam um ajustamento *ex post* das alocações de permissões baseado no desempenho durante o período de cumprimento. A Comissão também agiu como educador e facilitador de decisões dos Estados Membros, ao lançar documentos de orientação e relatórios de pesquisa para familiarizar os participantes nos vários aspectos do sistema e na organização de um Grupo de Trabalho, proporcionando um fórum para a troca de informações sobre a experiência dos Estados Membros. Os resultados mostraram que a competência técnica e política da comissão contribuíram significativamente para o sucesso da EU ETS.

Quanto à distribuição das permissões, nas duas primeiras fases foram definidos apenas 5 a 10% de permissões que poderiam ir a leilão. O sistema permite ainda a possibilidade de permissões gratuitas para novos entrantes e a exigência de acompanhamento das firmas

dado que as permissões são confiscadas quando a firma decreta falência. A alocação gratuita é geralmente julgada como menos eficiente do que o leilão, pois fere o princípio de que os emissores devem pagar pelos direitos de emissões. No entanto, a alocação gratuita de grande parte das emissões foi responsável por garantir um maior comprometimento das firmas num primeiro momento, na medida em que é um incentivo a adesão ao sistema sem custo inicial. Além disso, com receitas adicionais da comercialização de licenças de emissões, várias empresas compensaram em parte ou totalmente os maiores custos de produção decorrentes do EU- ETS.

A volatilidade do preço de crédito de carbono surge como uma preocupação recorrente de muitos analistas. A evolução dos preços no mercado europeu é uma importante variável a ser analisada. No início do programa, alguns analistas esperavam que os preços do carbono não fossem muito elevados, se mantendo na faixa de €10, seguindo a estimativa da maioria dos modelos econômicos. Porém, começando em €8 em janeiro de 2005, os preços das licenças começaram a subir rapidamente até atingir €25 a €30 em meados de 2005. Esse foi um preço acima das expectativas e pode ser explicado pela imaturidade do mercado, pela incerteza decorrente e pelo comportamento de outros mercados de energia, notadamente pelo aumento da demanda de carvão (BLEISCHWITZ e FUHRMANN, 2007).

Em abril de 2006, os preços apresentaram uma queda de 54% em quatro dias, em razão de uma alocação excessiva de permissões (ELLERMAN e BUCHNER, 2008). As emissões verificadas foram cerca de 80 milhões de toneladas ou 4% mais baixas do que a quantidade de licenças distribuídas em 2005. Chevallier (2009) identifica uma alta instabilidade no preço do carbono em 2008, que pode ser interpretado como um ajustamento retardado à crise financeira mundial. Eventos climáticos extremos, alterações nos preços de energia e questões institucionais e as alterações promovidas pela Comissão Europeia, também são apontados como responsáveis pela volatilidade do preço do carbono (CHEVALLIER, 2011, ALBEROLA e CHEVALLIER, 2009). Em 2012, a instabilidade dos preços de carbono pode ser explicada pela crescente incerteza das negociações pós-Quito.

Vários trabalhos têm estimado os impactos do mercado de carbono em diversos aspectos. Além de impactos sobre preços do carbono (ALBEROLA, CHEVALLIER & CHEZE, 2008; ABADIE e CHAMORRO; 2008), impactos sobre a produção e competitividade

setorial (BLEISCHWITZ e FUHRMANN, 2007; REINAUD, 2007; DEMAILLY e QUIRION, 2007; KLEPPER e PETERSON, 2004; PETERSON, 2006; NEUHOFF *et al.*, 2006, SMALE *et al.* 2006) e sobre o mercado de trabalho (ANGER e OBERNDORFER, 2008) podem ser encontrados na literatura.

Para se ter uma ideia dos impactos em termos agregados, BOHRINGER *et al.* (2005) estimaram que uma execução eficiente dos Planos Nacionais de Alocação implicaria custos marginais de redução equalizados de € 9.9 por tonelada de CO₂. Os custos totais associados ao mercado de carbono somariam €1,2 milhões, mais que um terço a menos se comparado ao cenário em que não há comércio de emissões.

Algumas perspectivas têm sido apontadas para um maior fortalecimento do EU-ETS. Um grau mais elevado de harmonização em vários aspectos arquitetônicos vem sendo solicitado pelos agentes envolvidos, a fim de excluir as distorções e questões de competitividade existentes em um mesmo setor em toda a Europa (McKINSEY, 2005). Além disso, a inclusão de outros gases e setores, principalmente o de aviação e transporte, deve ser um dos próximos passos para a ampliação do sistema.

A fase 3 do sistema, que se inicia em 2013, também traz algumas perspectivas quanto ao aumento da venda em leilão, que é tido como o meio mais eficiente para a alocação das permissões (MICHAELOWA e BUTZENGEIGER, 2005). Um leilão é preferível à existência de direitos adquiridos (alocação gratuita para as empresas com base nas emissões históricas ou nível atual de emissões), porque permite reduzir distorções fiscais, fornece maior flexibilidade na distribuição de custos, maiores incentivos para a inovação e também reduz a possibilidade de interferências políticas sobre a alocação das permissões (CRAMTON e KERR, 2002).

Para 2013, no mínimo 50% das permissões são esperadas para serem alocadas via leilão (comparado a cerca de 3% que foram alocadas na fase 2). A meta é o que pelo menos metade da receita proveniente dos leilões seja gasta com ações de mitigação na própria EU e também nos países em desenvolvimento (WORLD BANK, 2011).

3.2.2 Proposta norte-americana de mercado de carbono

Nos Estados Unidos, uma série de sistemas nacionais de comércio de emissões foi proposta, embora nenhuma delas tenha sido adotada. Algumas propostas estão em análise no Congresso Americano, com destaque para duas em particular. O “*Climate Security Act*”, (*Lieberman-Warner bill*) e o “*American Clean Energy and Security Act*” (*Waxman-Markey bill*), estabelecem reduções de 15% e 17% nas emissões de CO₂ em relação a 2005, dos setores industrial, energético e de transporte, respectivamente. As propostas são baseadas no mecanismo de “*cap-and-trade*”, estabelecem um sistema de leilão gradativo das permissões e também a possibilidade de mecanismos de compensação, tais como a utilização de REDDs (ver Quadro 2 para um quadro comparativo entre as propostas) (FLASCHLAND, 2008; WORLD BANK, 2009). Em todo caso, esses compromissos dependerão de aprovação do Senado americano, onde se debatem desde os efeitos na competitividade da economia até a própria evidência do aquecimento global.

Embora na esfera nacional nenhum plano tenha se estabelecido, a nível regional pode-se encontrar iniciativas de sistemas de comércio de permissões de emissões. Uma delas é a “Iniciativa Regional de Gases de Efeito Estufa” (RGGI - *The Regional Greenhouse Gas Initiative*) que foi o primeiro programa baseado em mecanismos de mercado em regulamentação nos EUA com o propósito de reduzir as emissões de GEE. O RGGI é um esforço cooperativo entre nove estados: Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New York, Rhode Island e Vermont. A meta é reduzir as emissões de CO₂ do setor energético em 10% até 2018; o RGGI está operando desde 2008. As permissões são distribuídas em cada estado com base em uma série de indicadores (emissões de 2000-2004, consumo de energia, população, emissões potenciais, dentre outras). Os estados são obrigados a leiloar pelo menos 25% das permissões e usar este fundo para investimento em programas de eficiência energética e energias alternativas. Em 2009, este mercado de carbono transacionou um volume de 805 tCO₂ no valor total de quase US\$ 2,2 milhões, a um preço médio de US\$3.3/ tCO₂e, significativamente menor se comparado ao preço das permissões da EU-ETS (FLASCHLAND, 2008; MACE *et al.*, 2008, WORLD BANK, 2009) .

O maior mercado potencial, entretanto, é o da Califórnia, que através da “*Global Warming Solutions Act of 2006 (AB32)*” propõe um mecanismo de “cap-and-trade” para o estado norte-americano. Depois de alguns entraves burocráticos, o sistema está previsto para começar em 2012. A lei estabelece metas de emissões de GEE de 25% abaixo dos níveis atuais até 2020 e 80% em 2050. Para tal, podem ser utilizados mecanismos de compensação como REDDs e também cooperação bilateral com outros estados e países. Em novembro de 2010, por exemplo, foi anunciado um acordo entre a Califórnia, estados do Brasil e México (POINT CARBON, 2010, PRAG *et al.*, 2011) para utilizar o mecanismo de compensações dos REDDs no regime de comércio de emissões da Califórnia .

Já o Chicago Climate Exchange (CCX) é uma bolsa auto-reguladora que administra o primeiro mercado voluntário a negociar direitos de emissão de GEE tanto entre diferentes países quanto setores. Criado em 2003, as empresas associadas à CCX comprometeram-se em diminuir em 4% as suas emissões de GEE em 2006, em relação aos níveis de 1998. Desde sua criação o mercado vinha crescendo de forma consistente, mas sofreu um declínio de 40% no volume de comércio em 2009 (de 69 tCO₂e para 41 tCO₂e). Os preços caíram acentuadamente, passando de US\$ 4,8 / tCO₂e para US\$ 0,8/ tCO₂e (WORLD BANK, 2009).

3.2.3 Exemplos em outros países

Planos para a introdução de sistemas de comércio de emissões domésticos também estão em andamento em outros países. Na perspectiva de médio prazo, o surgimento de novos mercados regionais potencializa as discussões acerca da interligação de tais mercados, notadamente com o da União Europeia.

O Canadá, por exemplo, tem promovido um plano para reduzir as emissões do setor energético, que respondem por quase 50% do total de emissões do país (CEPA *Environmental Registry*, 2005). Porém, a nível nacional ainda não há expectativas em relação a um programa “cap-and-trade”. Mercados locais, entretanto, já podem ser encontrados. O “*Greenhouse Gas Reduction (Cap and Trade) Act 2008*”, por exemplo,

inclui as províncias de British Columbia e Ontario e possibilita a interligação do sistema de emissões a outros mercados de carbono.

Em 2010, o governo japonês introduziu o “*Basic Act on Global Warming Countermeasures*”. Apesar de incluir vários instrumentos para a mitigação de GEE, a parte relacionada à criação de um mercado de carbono encontrou forte oposição, em razão das preocupações sobre os custos econômicos e a falta de consulta aos grupos setoriais envolvidos. A área metropolitana de Tóquio lançou em abril de 2010 seu próprio sistema de comércio de emissões, que tem como alvo escritórios, edifícios comerciais (incluindo universidades) e o setor industrial. O regime abrange cerca de 1.400 instalações, apesar de representar apenas 1% das emissões do país.

Em 2008, a Nova Zelândia lançou seu sistema de comércio de emissões de GEE (NZ ETS), que particularmente abrange o setor florestal. Em 2010, o sistema foi expandido para cobrir as emissões de combustíveis fósseis e também da indústria. Para 2013, está previsto a inclusão do setor agropecuário e de resíduos sólidos.

Esse é o primeiro mercado a abranger o setor de mudança no uso da terra e pode ser tomado como exemplo para o Brasil. Neste sistema, os proprietários de terra que possuíam florestas no período anterior a 1990 e que ocupam mais de 50 hectares de área são obrigatoriamente incluídos no regime de metas e negociação. Para os proprietários de terras a partir de 1990 a adesão é voluntária. Deste modo, as emissões que ocorreram no período pré-1990 são cobertas por permissões de emissão. Certificados de redução de emissões podem também ser originados pelo reflorestamento. A inclusão de terras indígenas ainda está em discussão. O mercado está em funcionamento e tem se mantido relativamente estável, com preços das permissões variando entre NZ\$17 (€9.34) e NZ\$22 (€12.1) (FLASCHLAND, 2008; WORLD BANK, 2009) .

A Austrália também é um exemplo de um programa voluntário de mercado de carbono (*Carbon Pollution Reduction Scheme - CPRS*), embora atualmente esteja arquivado. Durante 2010, o governo australiano anunciou planos para um mecanismo de taxação de carbono que gradualmente (3 a 5 anos) iria se transformar em um sistema de comercialização de emissões. No nível estadual, entretanto, várias iniciativas estão em

vigor, incluindo o “*New South Wales Greenhouse Gas Reduction Scheme (GGAS)*”, que se iniciou em janeiro de 2003. É um dos primeiros regimes de “*cap-and-trade*” do mundo e visa reduzir as emissões associadas à produção e ao uso de eletricidade. Atualmente, está sendo discutido a possibilidade de interligação com outros mercados de carbono, tal como a EU-ETS. Este mercado movimentou cerca de US\$ 117 milhões em 2009.

E por fim, ainda em fase bem preliminar, está programado o lançamento, em 2013, de projeto-piloto de comércio de emissões entre seis províncias da China com o objetivo de expansão a nível nacional até 2013 (WORLD BANK, 2009).

As tabelas a seguir resumem a evolução dos mercados regionais de carbono durante o período de 2007 a 2009 (Tabela 2) e as características dos principais sistemas de comércio de emissões a nível nacional e regional.

TABELA 2 - Evolução dos Mercados Regionais de Carbono – 2007-2009

	2007		2008		2009	
	Volume (MtCO ₂ -e)*	Valor (US\$ milhões)	Volume (MtCO ₂ -e)	Valor (US\$ milhões)	Volume (MtCO ₂ -e)	Valor (US\$ milhões)
Mercado de permissões						
EU ETS	2060	49065	3093	100526	6326	118474
NSW	25	224	31	183	34	117
CCx	23	72	69	309	41	50
RGGI	-	-	62	198	805	2179
AAUs	-	-	23	276	155	2003
Subtotal	2108	49361	3278	101492	7361	122823
Mecanismos de flexibilidade						
MDL primário	552	7433	404	6511	211	2678
IC	41	499	25	367	26	354
Mercado voluntário	43	263	57	419	46	338
Subtotal	636	8195	486	7297	283	3370
Total	2744	57556	3764	108789	7644	126193

Fonte: World Bank (2009, 2010). NSW, New South Wales Greenhouse Gas Abatement Scheme; CCX, Chicago Climate Exchange; RGGI, Regional Greenhouse Gas Initiative;

QUADRO 2 - Comparação das proposições de sistemas de comércio de emissões nacionais

Regiões	Situação	Abrangencia setorial	Metas			Modo de alocação de permissões	Compensações
			2020	2030	2050		
EU ETS	Em funcionamento	Geração de Energia, Refino de Petróleo, Siderurgia, Produção de Metal, Cimento, Vidro, Cerâmica, Madeira e Produtos de Papel (46% das emissões)	20% de redução em relação a 1990 (ou 30% com um acordo internacional em vigor)	30% com um acordo internacional em vigor	60-80% de redução em relação a 1990	Alocação gratuita: 95% no período 1 de negociação e 90% no período 2 Leilão: menos que 5% no período 1 e menos que 10% no período 2 de negociação	Total de compensações (domésticas e internacionais): 3-4%
Austrália	Arquivado	Geração de Energia, Transportes, Processos Industriais, Lixo e Setor Florestal (75% das emissões)	5-15% de redução em relação a 2000 (ou 25% com um acordo internacional em vigor)	30% de redução em relação a 2000	60% de redução em relação a 2000	Alocação gratuita: 25% no momento do lançamento Leilão: 75% no momento do lançamento	Acesso ilimitado ao mercado de carbono internacional (MDL e Implementação Conjunta)
EUA: Lieberman-Warner	Proposta em tramitação	Elettricidade, Transporte e Setor Industrial (82% das emissões)	15% de redução em relação a 2005	39% de redução em relação a 2005	70% de redução em relação a 2005	Alocação gratuita: 73,5%, com progressivo declínio (30,5% em 2031) Leilão: 26,5%, com progressivo aumento (69,5% em 2031)	Total de compensações (domésticas e internacionais): 30% do limite de emissões no ato do lançamento
EUA: Waxman-Markey	Aprovado pela Câmara de Deputados em 2009	Elettricidade, Transporte e Setor Industrial (85% das emissões)	17% de redução em relação a 2005	42% de redução em relação a 2005	83% de redução em relação a 2005	Alocação gratuita: 85%, com progressivo declínio Leilão: 15%, com progressivo aumento até alcançar 100%	Total de compensações (domésticas e internacionais): 33% do limite de emissões no ato do lançamento

Fonte: Adaptado de BEHR (2010).

3.3 Políticas de Eficiência Energética

As ações governamentais para a promoção da eficiência energética passaram a ter maior peso partir dos anos 1970, como resposta às crises do petróleo do período. Nos anos 80, contudo, a redução dos preços relativos do petróleo diminuíram a importância destes programas pelo mundo, com exceção dos países onde o planejamento governamental visava estratégias de longo prazo. Com o crescente aumento dos preços de energia a partir dos anos 2000 atrelado ao aumento da preocupação em torno das mudanças climáticas, retomou-se o maior interesse pelas políticas promotoras da conservação de energia. Dessa forma, foram se constituindo políticas, que tem alcançado resultados positivos em praticamente todos os setores de consumo (EPE, 2010).

Exemplos destas políticas também podem servir de suporte à consecução e implantação de novos programas que tenham efeitos potenciais sobre a magnitude da conservação e eficiência energética no Brasil. Diversos países possuem programas de eficiência energética, de modo que apresentar todos seria exaustivo. Portanto, selecionaram-se algumas experiências considerando a possibilidade e viabilidade de aplicação no caso brasileiro. A apreciação das principais experiências tem como suporte os relatórios divulgados pelo PDE 2030 (EPE, 2007), Eletrobrás (2010) e CNI (2009, 2010). Os programas podem ser assim sumarizados.

3.3.1 Programa de Eficiência Energética na Suécia

A Suécia tem um dos programas mais consolidadas de promoção de eficiência energética entre os países. Em 1997, foi criada a Agencia Sueca de Energia, responsável por coordenar políticas e programas nesta área, com principal destaque para a melhoria da eficiência energética. O Programa de Política Energética para Uso Eficiente de Energia: 2002-2007, lançado em 2002, tinha como pontos centrais i) o fortalecimento dos serviços municipais de consultoria em energia; ii) o desenvolvimento de metodologias para a divulgação de informações e capacitação; iii) o apoio ao desenvolvimento de tecnologias e à implementação comercial de tecnologias eficientes e iv) a consecução de testes, etiquetagem e certificação de equipamentos eletrônicos.

Em 2005, a Agência lançou um programa de incentivo a eficiência, especialmente direcionado para as indústrias intensivas em energia. De caráter voluntário, o ponto de incentivo do programa reside na redução de impostos como resultado do alcance de metas de eficiência.

3.3.2 Programas de Eficiência Energética no Reino Unido

A Inglaterra, como parte das iniciativas para uma economia de baixo carbono, criou o “*Carbon Trust*”, que se configura como uma empresa privada com a missão de acelerar o desenvolvimento comercial de tecnologias que reduzam as emissões de carbono, monitorando e se articulando tanto com o setor público quanto o privado. As ações incentivadas pelo fundo envolvem a otimização da gestão energética, capacitação, divulgação de informações e diagnósticos energéticos. Soma-se ainda, o incentivo a programas de promoção de substituição de equipamentos (aquecedores de água, sistemas de iluminação, sistemas de aquecimento, unidades de cogeração), com descontos e financiamento.

Outras iniciativas governamentais ficam sob a tutela da “*Energy Saving Trust*” (EST), que apoia iniciativas de marketing, promovendo a eficiência energética como um meio moderno e socialmente aceitável de poupar dinheiro.

O país também se utiliza de centros de informação (*Energy Efficiency Advice Centres - EEAC*), para fornecer orientações na área energética para consumidores domésticos e pequenos empresários.

3.3.3 Programas de Eficiência nos Estados Unidos

Nos Estados Unidos, o Programa Federal de Gerenciamento de Energia (*Federal Energy Management Program*) coordena a relação com o setor privado para fornecer mecanismos de financiamento a este setor, aliado a práticas de treinamento, auditorias e demonstração de tecnologias (EPE, 2007).

O país também desenvolve programas de eficiência energética na indústria, incluindo a imposição de eficiência mínima obrigatória na produção e importação de alguns equipamentos de uso geral, como motores elétricos, caldeiras, fornos e transformadores.

Outra regulamentação diz respeito à imposição de padrões mínimos de eficiência impostos pelo governo federal e pelos governos estaduais. No caso dos padrões federais, eles são revistos a cada cinco anos, pelo Departamento de Energia do governo americano, que é também responsável por coordenar parcerias com universidades e centros de pesquisa, realizando diagnósticos energéticos e divulgando informações para pequenas e médias empresas.

Um destaque importante entre os programas de eficiência é o Programa Tecnológico Industrial (*Industrial Technologies Program* – ITP), que já tem alcançado resultados eficazes, a partir do desenvolvimento de projetos de P&D com empresas privadas para o desenvolvimento de tecnologias que melhorem a eficiência energética nas indústrias de produção de alumínio, papel e celulose, vidro, fundição de metais, química, mineração, refino de petróleo e siderurgia. Atrelado ao subprograma de desenvolvimento de Melhoras práticas (*Best Practices*) de racionalização de energia e aumento de produtividade nas empresas, esse programa tem como meta a diminuição da intensidade de energia na indústria em 30% no ano de 2020 em comparação a 2002 e a implementação comercial de mais de dez tecnologias eficientes até 2010, através de parcerias público-privadas em projetos de P&D.

3.3.4 Programas de Eficiência em outros países

No Canadá, a Agência de Eficiência Energética (“*Office of Energy Efficiency*”) tem sido responsável pela aplicação e monitoramento dos programas destinados a melhoria de eficiência energética. Dois programas merecem destaque: i) Programa de informações sobre eficiência energética de aparelhos de aquecimento, ventilação e ar condicionado, para orientar sua aquisição e ii) Programas “RenoSense” e Fundo “Energuide” que tem como finalidade estimular melhorias de eficiência energética nos planos de reforma das residências.

A Agência do Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME - *Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie*), localizada na França, cuida do monitoramento dos programas de informações sobre uso de energia, do apoio à pesquisa, realização de diagnósticos, incentivo ao gerenciamento ambiental e de energia em plantas industriais, processamento de lixo industrial e armazenamento de água

residual e também atua para uma maior disseminação de tecnologias de eficiência energética com o mínimo impacto ambiental.

Entre os países em desenvolvimento, os programas que visam melhorias de eficiência energética ainda são limitados. Esta é uma oportunidade para o Brasil no sentido de liderar as iniciativas de programas mais efetivos de eficiência energética entre os países em desenvolvimento. A China, por exemplo, tem como principal política a existência de padrões mínimos obrigatórios de eficiência energética para equipamentos de uso geral na indústria, associadas a certificados de gestão otimizada de energia, compatíveis com a ISO 9000 e a ISO 14000.

3.4 Lições para políticas de baixo carbono no Brasil

O Brasil tem se mostrado atuante no mercado de carbono global. O país foi o primeiro a assinar a Convenção sobre a Mudança do Clima, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, e propôs também sua participação voluntária, por meio de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Como definido no Artigo 12 do Protocolo, o MDL consiste no financiamento de projetos que “resultem em reduções certificadas de emissão (CERs)” (UNFCCC, 2001).

O Brasil foi pioneiro ao registrar o primeiro projeto MDL da história, e a partir daí continuou a ser um dos países mais atuantes nessa área. Até janeiro de 2011, dos 7092 projetos desenvolvidos no mundo, o Brasil possuía 477 projetos (7% do total), ocupando a terceira posição, atrás de China (2729 projetos) e Índia (1938)²⁶. O MDL parece ter alcançado resultados satisfatórios no Brasil. Um total de 415 projetos brasileiros desenvolvidos no âmbito desse mecanismo reduzem anualmente aproximadamente 7,5% das emissões não florestais brasileiras (MIGUEZ *et al.*, 2010). Soma-se a isto que o país tem acumulado uma experiência em energias renováveis, especialmente em bioenergia, o que potencializa as oportunidades em projetos de MDL

²⁶ Retirado do relatório “Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo”. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/30317.html>

(MCT, 2008). Assim, o país posiciona-se como um dos maiores fornecedores mundiais de créditos de carbono, mesmo com a aplicabilidade reduzida do MDL.

A experiência adquirida no âmbito do mercado de créditos de carbono do MDL pode ser o ponto de partida institucional e prático para a criação de um mercado brasileiro de carbono, com regras próprias, mecanismos locais de comercialização e plataforma de negociação adequada para compradores e vendedores. A perspectiva é promissora caso o sistema venha se integrar com outros mercados internacionais, como forma de gerar maiores volumes de negócios (IFC, 2010). Pelo menos inicialmente, esta parece ser a arquitetura mais provável pós-Protocolo de Quioto, na qual mercados regionais já existentes estabelecem ligações formais a fim de minimizar custos e aumentar a eficiência ambiental da política. Da mesma forma, esta articulação pode ser um incentivo a um acordo mais amplo.

No Brasil já existem mecanismos de mercado de carbono para o fomento de projetos do MDL. A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) lançou as bases para a implantação de um sistema para a negociação de créditos de carbono na Bolsa de Mercadorias & Futuros (Bm&F), denominado Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE). Conforme Seroa da Motta (2010), embora o MBRE tenha sido até agora restrito a créditos de projetos de MDL destinados ao cumprimento das metas dos países signatários do Protocolo de Quioto, está previsto na PNMC que o MBRE será operacionalizado em bolsas de mercadorias e futuros e em bolsas de valores e entidades de balcão, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários, onde se dará a negociação de títulos mobiliários representativos de emissões de GEEs evitadas e certificadas. Neste caso, o “MBRE não só adquire um escopo mais amplo que o de transacionar créditos de MDL, mas também reconhece que os volumes transacionados são títulos mobiliários. Este reconhecimento contábil é um fator importante para o estabelecimento de valor para as transações de mercado que, até a PNMC, não tinha encontrado amparo legal para que fosse assim determinado” (SEROA DA MOTTA, 2010).

Existe a expectativa de que a introdução da precificação sobre o carbono, através de impostos ou até de um mercado de carbono no Brasil tenha grande potencial para garantir e facilitar o cumprimento das metas voluntárias de emissão estabelecidas com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei no 11.187/2009), de 36,1% a 38,9% de redução de emissões de GEE, especialmente nos setores energéticos, agropecuário e

industrial²⁷. Entretanto, até o início de 2013 nenhuma ação que envolva a implantação de mecanismos de mercado foi proposta²⁸. A proposta brasileira se concentra basicamente em medidas de controle do desmatamento e de regulamentação e incentivo (BRASIL, 2010):

- i) Redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre 1996 e 2005 e redução de 40% no bioma Cerrado em relação à média verificada entre 1999 e 2008 (redução estimada em 868 milhões tCO₂-e em 2020).
- ii) Recuperação de 15 milhões de hectares (ha) de pastagens degradadas (redução estimada entre 83 a 104 milhões de tCO₂-e em 2020).
- iii) Ampliação do sistema de integração lavoura/pecuária/floresta em 4 milhões de ha (redução estimada entre 18 a 22 milhões de tCO₂-e em 2020).
- iv) Incentivo à prática de plantio direto em 8 milhões de ha (redução de 16 a 20 milhões tCO₂-e em 2020).
- v) Expansão da fixação biológica de nitrogênio em 5,5 milhões de ha de áreas de cultivo, em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados (redução de 16 a 20 milhões tCO₂-e em 2020).
- vi) Expansão do plantio de florestas em 3 milhões de hectares.
- vii) Expansão da oferta de energia hidroelétrica e de fontes alternativas renováveis, notadamente centrais eólicas e pequenas centrais hidroelétricas (redução de 105 a 132 milhões tCO₂-e em 2020).
- viii) Aumento do uso e oferta de biocombustíveis (redução de 48 a 60 milhões tCO₂-e em 2020).
- ix) Aumento da eficiência energética (redução de 12 a 15 milhões tCO₂-e em 2020).
- x) Incremento da utilização na siderurgia do carvão vegetal originário de florestas plantadas e melhoria na eficiência do processo de carbonização (redução de 8 a 10 milhões tCO₂-e em 2020).

A meta nacional de redução de 38,9% é baseada na contribuição da redução do desmatamento (-24,7%), ao passo que os 14,2% restantes são divididos nos setores energético (7,7%), agropecuário (6,1%) e outros (0,4%). Porém, conforme indicam as tendências de aumento das emissões, principalmente do setor energético e de transportes

²⁷ As metas foram definidas de acordo com diferentes cenários de crescimento setoriais.

²⁸ Conforme dispõe o Decreto nº 7.390/2010 (2010) e a proposta do Brasil em Copenhague (Brasil, 2010) que associou os planos da PNMC às ações de mitigação por setores.

(ver GOUVELLO *et al*, 2010 e SEROA DA MOTTA, 2010), esta meta pode não ser cumprida. Para 2030, por exemplo, as emissões projetadas do setor energético são de um aumento de 97%, representando mais do que 25% das emissões nacionais (GOUVELLO *et al*, 2010).

As experiências de outros países em políticas climáticas e as características de emissões do Brasil, aliado à PNMC, indicam que mecanismos de mercado de carbono podem colaborar para o esforço nacional de redução das emissões, tanto em termos de eficiência como de custos. A PNMC, até o momento, não considera tais mecanismos, pois se baseia apenas em políticas de regulação e fiscalização (redução do desmatamento) e compromissos setoriais voluntários. Nesse contexto, a possibilidade de sucesso da PNMC é mais baixa e o custo (de verificação e monitoramento) pode ser alto. Algumas iniciativas regionais, entretanto, têm suscitado discussões em torno da criação de políticas mais eficientes na redução das emissões de GEE. O estado do Rio de Janeiro, por exemplo, deu um primeiro passo para estabelecer um mercado local de crédito de carbono, ao lançar em 2011 a Bolsa Verde do Rio de Janeiro, que administraria um mercado de carbono para a redução das emissões de GEE dos principais setores emissores do estado, como petróleo e siderurgia. O objetivo desse mercado seria a estabilização as emissões de 2005 até 2030, com monitoramento se iniciando em 2015²⁹. Os estados do Amazonas, Tocantins, Santa Catarina, Minas Gerais e São Paulo também já possuem políticas estaduais de mudanças climáticas e os dois últimos, registros públicos de emissões de GEE de adesão voluntária por parte das fontes emissoras. O Estado de São Paulo já está um passo a frente, através da Política Estadual de Mudanças Climáticas de São Paulo, pois foi o primeiro estado a estabelecer metas mandatórias de 20% de redução até 2020 com base no inventário de 2005 (PEMC, 2009).

Cabe ressaltar que as metas propostas pelo Brasil, de redução de emissões brasileiras, instituída pelo PNMC, incluem várias das ações implementadas por programas de incentivo a eficiência energética, alguns já consolidados há mais de 20 anos. O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), desenvolvido pelo INMETRO em articulação com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás

²⁹ Retirado de <http://oglobo.globo.com/ciencia/empresas-terao-metas-de-reducao-de-gases-estufa-3913775>. Acesso 18 de fevereiro de 2012.

Natural (CONPET) tem tido uma destacada atuação, que se somando aos instrumentos da Lei Eficiência Energética, Lei nº 10.295/2001, compõe uma base normativa relevante em prol da redução das perdas energéticas. Adiciona-se ainda a linha de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), PROESCO, específica para apoio a projetos de eficiência energética (EPE 2011, 2007).

Desenvolvido em 1985, O PROCEL visa promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. Sua atuação inicial caracterizou-se pelo repasse de informações destinados a conservação de energia elétrica em vários setores, passando depois, a estimular o desenvolvimento tecnológico e a adequação das legislações e normas técnicas. Desde 1986, foram investidos R\$ 1,26 bilhão em ações de eficiência energética do Procel. De acordo com os dados oficiais, no período 1986 a 2011, o PROCEL possibilitou uma economia de energia elétrica de cerca de 51,2 bilhões de kWh, o que equivale ao atendimento de 27 milhões de residências durante um ano. Em 2011, o Procel atingiu um resultado de economia de energia de aproximadamente 6,7 bilhões de kWh, correspondente a emissões evitadas de 196 mil tCO₂-e, o que corresponde também às emissões proporcionadas por 67 mil veículos em um ano (ELETROBRAS, 2012).

Outro programa relevante nesta questão é o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET), criado em 1991, que tem como finalidade desenvolver e integrar as ações que visam à racionalização do uso de derivados e petróleo e gás natural. A área de atuação do CONPET abrange as instituições de ensino e setores de transporte, industrial (melhoria ambiental e competitividade produtiva), residencial e comercial (uso de selos de eficiência para produtos), agropecuário (uso de óleo diesel) e geração de energia (termoelétricas) (Brasil, 2011).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), regulamentado em 1984, é coordenado e regulamentado pelo INMETRO e executado em parceria com o CONPET para os equipamentos que consomem combustíveis (fogões, fornos, aquecedores de água a gás e automóveis). Por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), afixada nos produtos de forma voluntária ou compulsória, o consumidor é informado, no momento da compra, sobre a eficiência energética ou consumo de modelos

semelhantes (Brasil, 2011). Em 20 anos, o PBE produziu resultados expressivos, como é o caso de refrigeradores, cuja eficiência média evoluiu em 48% no período. (EPE, 2006). Estes programas estão incluídos no âmbito do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), aprovado em 2011.

Conforme o próprio Plano, o Brasil dispõe de um grande potencial de conservação de energia, notadamente nos setores industrial, de transporte e residencial³⁰. Não obstante, este potencial não tem sido perseguido ou se concretizado na prática, levantando a questão debatida na literatura do “gap da eficiência energética”. Cabe avaliar, então, quais seriam os obstáculos impostos a maior efetivação dos investimentos direcionados a conservação de energia. O papel do governo no encaminhamento de uma Política Nacional de Eficiência Energética, que incentive um conjunto de medidas, mecanismos regulatórios e financiamentos, já está delineado no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), aprovado em 2011.

Todavia, os investimentos do setor privado em tecnologias de “baixo carbono” requerem incentivos que tornem atraentes estas opções. Se uma tecnologia de baixo carbono possui custo maior que a usual, ou demanda maiores investimentos, dificilmente os setores produtivos seriam inclinados a optar por ela, mesmo que imbuídos de princípios de “sustentabilidade” ou “responsabilidade social”. Neste contexto, mecanismos de mercado podem ser uma opção, uma vez que incentiva o investimento em tecnologias mais “limpas”, reduzindo custos e favorecendo uma economia de baixo carbono economicamente eficiente e ecologicamente sustentável.

O mercado de carbono é a política de maior evidencia no cenário internacional e talvez a mais plausível para o caso brasileiro. O processo de implantação de um mercado de carbono nacional requer analisar e aprender com a experiência de outros países no que diz respeito à estrutura e regulamentação dos mercados de ativos ambientais. Nesta tese uma série de exemplos de políticas de mercado foi analisada. Algumas lições gerais podem ser elencadas.

O fortalecimento de políticas mais efetivas para uma economia de baixo carbono e das instituições relacionadas perpassa pela construção de uma base sólida de informações, calcada em dados confiáveis sobre as emissões de GEE por fonte (combustíveis fósseis)

³⁰ O setor industrial é o maior consumidor energético, respondendo por 35,8% do consumo final em 2012 seguido pelos setores de transporte com 30,0% e residencial com 9,8% (BEN, 2012)

e setor, sobre o potencial de redução de emissões de projetos de reflorestamento e manutenção de florestas, por exemplo, e também dos custos envolvidos na implantação destas políticas. A primeira fase da EU-ETS (2005-2007) se mostrou essencial para fins organizacionais, factibilidade da política, fortalecimento institucional e aumento da credibilidade do sistema. Logo, uma fase preliminar, para o caso brasileiro, mostra-se recomendável, ainda mais se considerando a ausência de mercados desse tipo no Brasil. Mais que isso, a definição de uma agência de gerenciamento de informações é imprescindível nesta fase da política, dado que mercados de carbono envolvem esforços administrativos relacionados à alocação das permissões, monitoramento, execução e avaliação da efetividade assim como custos de transação entre compradores e vendedores. A Comissão Europeia, por exemplo, foi fundamental para o sucesso do programa no continente.

Um ponto importante na definição de políticas de carbono são as metas e a métrica, ou valor de referência, do compromisso nacional de redução. A métrica que oferece melhor capacidade de monitoramento, verificação e implementação é aquela que indica um percentual de redução absoluto de emissões em relação a um determinado ano-base inventariado (conhecido). As reduções de emissões voluntárias dos países em desenvolvimento, como o Brasil, cuja métrica é baseada em um desvio de uma tendência de emissões futuras, não permitem que se faça uma definição precisa de quanto deverá ser abatido, posto que depende de um cenário-base hipotético, tanto de crescimento de emissões como de crescimento econômico e de modificações estruturais, como por exemplo na matriz energética. A finalidade deste tipo de métrica pode ser considerada justa uma vez que busca não comprometer o crescimento e desenvolvimento destes países, porém as verificações destas metas se tornam uma questão complexa, devendo ser alvo de maiores debates e estudos.

No Brasil, seria recomendável um projeto-piloto de mercado de carbono entre os estados que já apresentam iniciativas de registro público de emissões de GEE (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro), a exemplo do que foi proposto pela China, para maior factibilidade do processo. Além disso, a criação de um mercado conjunto evita uma tendência de timidez nestas iniciativas regionais, pois a adoção de limitação de emissões poderia criar custos de produção maiores em um dos estados, diminuindo a competitividade da produção local.

CAPÍTULO 4 - Metodologia

4.1 A abordagem de Equilíbrio Geral aplicada a questões ambientais

Esta seção tem por objetivo apresentar um referencial teórico e aplicado acerca de questões ambientais, mais especificadamente, tendo como tema a poluição e a taxação. A próxima seção apresenta um modelo teórico de equilíbrio geral que avalia a incidência de um imposto de carbono sobre os fatores produtivos e emissões.

4.1.1 Modelo teórico estilizado.

Tratar um problema econômico em equilíbrio parcial ou equilíbrio geral tem implicações metodológicas importantes. Em equilíbrio parcial, a economia é um sistema econômico no qual o problema em estudo representa um bloco, ou mercado, independente e isolado. As relações e o comportamento desse mercado tem pouco ou nenhum efeito no restante do sistema, pois não captam impactos retro-alimentadores na economia, ou seja, desconsideram os efeitos complementares e competitivos gerados nas interdependências entre setores ou regiões. Em equilíbrio geral, a economia é vista como um sistema de mercados inter-relacionados, no qual o equilíbrio em todas as relações tem que ser obtido simultaneamente. Preços flexíveis, mobilidade dos fatores primários e possibilidade de substituição entre insumos são alguns de seus atrativos.

Um modelo aplicado de equilíbrio geral pode ser definido como um conjunto de equações que incorpora um histórico de conhecimentos econômicos, teóricos e empíricos. Apresenta, assim, uma estrutura microeconômica detalhada, captando, dentre os quais, características setoriais e comportamentais de empresas, famílias e demais instituições na economia. Mudanças nos preços relativos provocam substituições imperfeitas nos mercados de fatores primários e de bens e insumos, engendrando impactos sobre toda a economia. Por exemplo, variações dos preços internos produzem alterações na demanda estrangeira que podem favorecer ou prejudicar as indústrias exportadoras e produzir efeitos sobre o restante do sistema produtivo. O mercado de fatores de produção (e.g. capital, trabalho e terra), através de restrições de oferta,

alterações nos preços relativos e efeitos de substituição, pode capturar a mobilidade dos fatores entre setores (HADDAD, 1999; PEROBELLI, 2004). Este é o quadro teórico mais adequado para inúmeras questões relevantes da economia brasileira, inclusive mudanças climáticas, políticas de mitigação e seus efeitos econômicos.

Modelos econométricos não são os mais aconselháveis no estudo do impacto de mudanças climáticas, uma vez que a dinâmica das variáveis econômicas observadas é determinada por fatores conjunturais e estruturais (macroeconômicos, demográficos, e políticas públicas, por exemplo) e as alterações percebidas até hoje, nas temperaturas e condições climáticas, são pequenas. É o caso clássico do “domínio de aplicabilidade” de modelos econômicos: a ausência de tal fenômeno no passado dificulta a estimativa adequada de seu impacto. Além disso, por ser um fenômeno que pode afetar diversos setores da economia, cujos efeitos podem se amplificar ou anular dentro da cadeia de inter-relações econômicas, análises em equilíbrio geral são as mais adequadas ao tema. Esta é uma razão para a predominância de modelos de equilíbrio geral no estudo de mudanças climáticas e políticas de mitigação. (MANNE, 2005).

A abordagem de equilíbrio geral para avaliar impactos das políticas ambientais em uma economia vem sendo crescentemente utilizada. A razão para este interesse é óbvio. Uma política ambiental que visa reduzir significativamente as emissões de poluição podem ter efeitos significativos sobre preços, quantidades e também sobre a estrutura de uma economia. O comportamento de produtores e consumidores é afetado pelos efeitos das emissões de poluição na produção e consumo, e pela implementação de políticas de controle de poluição. Além disso, possibilita analisar impactos distributivos e sobre o bem-estar das políticas, a partir de diferentes instrumentos fiscais, como quotas, impostos, subsídios ou transferências de renda, cujos efeitos podem ser transmitidos através dos diversos mercados (WING, 2004, TOURINHO *et al*, 2003). Por esta razão, a abordagem de equilíbrio geral é mais adequada a este estudo se comparado a modelos de equilíbrio parcial

Esta seção apresenta um modelo teórico estilizado para tratar de políticas de mitigação das mudanças climáticas como forma de se alcançar uma economia de baixo carbono. A modelagem teórica, apesar de sua agregação e simplificação, possui a vantagem de derivar soluções analíticas para os efeitos de equilíbrio geral sobre a produção e preços dos fatores que valem para qualquer especificação de parâmetros do modelo, não apenas

para implementações numéricas. Portanto, este modelo pode ser interpretado como um complemento a um modelo de equilíbrio geral computável (aplicado), servindo de base para um melhor entendimento dos resultados do modelo numérico.

Harberger (1962) foi o precursor no desenvolvimento de modelos analíticos de equilíbrio geral para analisar a incidência de impostos. Mais especificadamente, a incidência de impostos sobre a poluição tem sido alvo de estudo de diversos autores (YOHE, 1979; CHUA, 2003; FULLERTON e HEUTEL, 2007).

O modelo apresentado aqui é usado para elucidar os impactos sobre preços e quantidades que resultam da tributação sobre a poluição, aqui tomado como *proxy* para as emissões de CO₂. Esta apresentação segue o modelo proposto por Fullerton e Heutel (2010), que por sua vez é uma extensão de Harberger (1962) para tratar de questões ambientais. O modelo é resolvido por log-linearização a partir do equilíbrio inicial, e por isso válido para pequenas mudanças na taxação de poluição.

Neste modelo, a economia consiste de dois setores produzindo dois produtos finais. O setor X utiliza apenas capital (K_X) e trabalho (L_X) como insumos, e pode ser denominado como o “setor limpo”. O “setor poluente”, por outro lado, utiliza além de capital (K_Y) e trabalho (L_Y), também um terceiro insumo, a poluição (Z). As funções de produção seguem retornos constantes de escala, e podem ser definidas como:

$$X = X(K_X, L_X) \quad (1)$$

$$Y = Y(K_Y, L_Y, Z) \quad (2)$$

Sujeitos as restrições:

$$K_X + K_Y = \bar{K} \quad (3)$$

$$L_X + L_Y = \bar{L} \quad (4)$$

Onde $\bar{K}$ (capital) e $\bar{L}$ (trabalho) agregados são fixos, representando a oferta de capital e trabalho. Diferenciando estas duas restrições, tem-se:

$$\hat{K}_X \lambda_{KX} + \hat{K}_Y \lambda_{KY} = 0, \quad (5)$$

$$\hat{L}_X \lambda_{LX} + \hat{L}_Y \lambda_{LY} = 0, \quad (6)$$

Onde $\hat{K}$ e $\hat{L}$ denotam uma mudança proporcional, como por exemplo, $\hat{K}_X = dK_X/K_X$, e λ_{ij} indica a participação do fator i no setor j (por exemplo, $\lambda_{KX} = K_X/K$).

Neste modelo, Z não tem qualquer restrição e é simplesmente uma escolha do “setor poluente”. Para garantir a utilização finita da poluição no equilíbrio inicial, supomos um imposto preexistente sobre a poluição³¹.

Os produtores do “bem limpo” X podem substituir entre fatores de produção, em resposta a alterações nos preços do capital (p_K) e do trabalho (p_L), de acordo com uma elasticidade de substituição da produção σ_X . A demanda por fatores da firma é então definida por $\hat{K}_X - \hat{L}_X = \sigma_X (p_L - p_K)$, onde σ_X é definida positiva.

O custo de capital da firma pode ser escrita como $p_K = r (1 + \tau_K)$ onde r é a taxa de retorno líquida do capital e τ_K é a alíquota *ad valorem* do imposto sobre o capital. Da mesma forma, $p_L = w (1 + \tau_L)$, onde w é o salário líquido e τ_L é o imposto sobre o trabalho³². Como a única mudança sobre impostos é no imposto sobre a poluição, então o resultado da diferenciação é $\hat{p}_L = \hat{w}$ e $\hat{p}_K = \hat{r}$.

Substituindo tem-se:

$$\hat{K}_X - \hat{L}_X = \sigma_X (\hat{w} - \hat{r}). \quad (7)$$

A escolha dos insumos para a produção do “bem poluente” Y, por sua vez, é mais complexa, uma vez que deve considerar além do preço do aluguel do capital e do trabalho, a taxa ou imposto τ_Z . Primeiramente, deve-se notar que as empresas não enfrentam um preço de mercado para a poluição, apenas um imposto. Dessa forma, $p_Z = \tau_Z$ (e $\hat{p}_Z = \hat{\tau}_Z$, onde $\hat{\tau}_Z = d\tau_Z / \tau_Z$). Este imposto por unidade de poluição é um imposto específico.

³¹ Este problema também pode ser resolvido com a introdução de um custo privado de poluição, ao invés de um imposto (ver FULLERTON e METCALF, 2001).

³² Diferenciando as equações de preços, temos: $\hat{p}_K = \hat{r} + \hat{\tau}_K$ and $\hat{p}_L = \hat{w} + \hat{\tau}_L$, where $\hat{\tau}_K = d\tau_K / (1 + \tau_K)$ and $\hat{\tau}_L = d\tau_L / (1 + \tau_L)$. O modelo poderia ser utilizado para variar estas taxas de impostos e, portanto, avaliar sua incidência. Entretanto, nesta tese, estas taxas são constantes.

Seguindo Mieszkowski (1972) na modelagem de escolha entre três insumos, defini-se a demanda por fatores em termos das elasticidades de substituição de Allen entre insumos, e_{ij} ,³³ e das participações (shares) da receita de vendas das firmas. Definindo:

$$\theta Y_K \equiv r (1 + \tau_K) K_Y / p_Y Y \quad (8)$$

Como a parcela da receita de vendas de Y que é pago ao capital e da mesma forma para θY_L , θX_K e θX_L .

Note ainda que:

$$\theta Y_Z \equiv \tau_Z Z / p_Y Y \quad (9)$$

É a parcela das receitas do setor de Y que é pago devido à poluição, através de impostos. Observe também que $\theta X_K + \theta X_L = 1$ e $\theta Y_K + \theta Y_L + \theta Y_Z = 1$. Estas relações seguem Mieszkowski (1972) e Allen (1938)³⁴, a fim de se obter:

$$\hat{K}_Y - \hat{Z} = \theta_{YK}(e_{KK} - e_{ZK}) \hat{r} + \theta_{YL}(e_{KL} - e_{ZL}) \hat{w} + \theta_{YZ}(e_{KZ} - e_{ZZ}) \hat{t}_Z, \quad (10)$$

$$\hat{L}_Y - \hat{Z} = \theta_{YK}(e_{LK} - e_{ZK}) \hat{r} + \theta_{YL}(e_{LL} - e_{ZL}) \hat{w} + \theta_{YZ}(e_{LZ} - e_{ZZ}) \hat{t}_Z. \quad (11)$$

Assumindo concorrência perfeita e retornos constantes de escala na produção, a partir de condições de lucro zero pode-se chegar a:

$$\hat{p}_X + \hat{X} = \theta_{XK}(\hat{r} + \hat{K}_X) + \theta_{XL}(\hat{w} + \hat{L}_X), \quad (12)$$

$$\hat{p}_Y + \hat{Y} = \theta_{YK}(\hat{r} + \hat{K}_Y) + \theta_{YL}(\hat{w} + \hat{L}_Y) + \theta_{YZ}(\hat{Z} + \hat{t}_Z). \quad (13)$$

Diferenciando a função de produção dos setores e utilizando a pressuposição de competição perfeita, tem-se:

$$\hat{X} = \theta_{XK} \hat{K}_X + \theta_{XL} \hat{L}_X, \quad (14)$$

$$\hat{Y} = \theta_{YK} \hat{K}_Y + \theta_{YL} \hat{L}_Y + \theta_{YZ} \hat{Z}. \quad (15)$$

³³ A elasticidade de Allen é positiva quando dois insumos são substitutos e negativa, quando são complementares. É importante notar que $e_{ij}=e_{ji}$, $e_{ii} \leq 0$, e que pelo menos uma das três elasticidades-preço cruzada pode ser negativa. Condições de estabilidade em Allen (1938) requerem que e_{ij} seja estritamente negativa. No entanto, pode-se resolver para o caso de uma função Leontief no qual $e_{ij} = 0$, de modo que $e_{ii} \leq 0$.

³⁴ Para um detalhamento completo das derivações ver Fullerton e Heutel (2010)

Finalmente, a preferência do consumidor para os dois bens podem ser modelados através da elasticidade de substituição entre os bens X e Y na demanda do consumidor, σ_u . Diferenciando a definição de σ_u , obtém-se a equação de resposta da demanda do consumidor a mudança nos preços³⁵.

$$\hat{X} - \hat{Y} = \sigma_u(\hat{P}_Y - \hat{P}_X). \quad (16)$$

O modelo constitui-se de dez equações, contabilizadas a partir da equação (5). Como o modelo tem 11 incógnitas ($\hat{K}_X, \hat{K}_Y, \hat{L}_X, \hat{L}_Y, \hat{w}, \hat{r}, \hat{P}_X, \hat{X}, \hat{P}_Y, \hat{Y}, \hat{Z}$), pode-se escolher o bem X como numerário, estabelecendo $\hat{P}_X = 0$. Em seguida, o sistema linearizado de equações pode ser resolvido considerando uma pequena mudança exógena no imposto sobre a poluição (τ_Z), afetando os preços dos fatores (w e r) e o preço relativo dos bens, dado por p_Y . A escolha da normalização implica que todas as alterações nos preços são relativos ao preço do bem X. Assim, se $\hat{P}_Y > 0$, o preço do bem Y aumenta relativamente ao bem X. Dessa forma, o consumidor que gastam mais do que a média em Y está relativamente mais onerado do que os demais. Além disso, a normalização implica que w e r tem sinais opostos. Como o setor X utiliza apenas dois insumos, se o preço de um insumo se eleva então o outro deve reduzir para manter o ponto de equilíbrio, sem nenhuma alteração no preço do bem. No entanto, isto não implica que os proprietários de um fator vão ganhar e os demais vão perder. Pelo contrário, se $\hat{w} > 0$ e $\hat{r} < 0$, a carga que recai sobre o capital é proporcionalmente maior do que a parcela do capital na renda nacional. A solução do modelo é apresentada a seguir. Para maiores detalhes da derivação das soluções, ver Fullerton e Heutel (2007).

$$\hat{P}_Y = (\theta_{YL}\theta_{XK} - \theta_{YK}\theta_{XL})/D [A(e_{ZZ} - e_{KZ}) - B(e_{ZZ} - e_{LZ}) + (\gamma_K - \gamma_L)\sigma_u]\hat{\tau}_Z + \theta_{YZ}\hat{\tau}_Z \quad (17a)$$

$$\hat{w} = \theta_{XK}\theta_{YZ}/D [A(e_{ZZ} - e_{KZ}) - B(e_{ZZ} - e_{LZ}) + (\gamma_K - \gamma_L)\sigma_u]\hat{\tau}_Z \quad (17b)$$

$$\hat{r} = \theta_{XL}\theta_{YZ}/D [A(e_{KZ} - e_{ZZ}) - B(e_{LZ} - e_{ZZ}) - (\gamma_K - \gamma_L)\sigma_u]\hat{\tau}_Z \quad (17c)$$

³⁵ Em certo sentido, pode-se evitar dizer que a poluição é um insumo dentro da função de produção $Y = Y(K_Y, L_Y, Z)$ e, apenas especificá-la nas Eqs. (14) e (15). Nesse caso, as elasticidades Allen de substituição são uma forma direta para modelar as escolhas das firmas. Um imposto sobre poluição leva as empresas a poluir menos, mantendo a produção constante, podendo aumentar ou diminuir o uso de trabalho ou capital dependendo dos sinais e magnitudes de e_{LZ} e e_{KZ} .

$$\tilde{z} = -1 \setminus c [\theta_{YK} (\beta_K (e_{KK} - e_{ZK}) + \beta_L (e_{LK} - e_{ZK}) + \sigma_u) \tilde{r} + \theta_{YL} (\beta_K (e_{KL} - e_{ZL}) + \beta_L (e_{LL} - e_{ZL}) + \sigma_u) \tilde{w} + \theta_{YZ} (\beta_K (e_{KZ} - e_{ZZ}) + \beta_L (e_{LZ} - e_{ZK}) + \sigma_u) \tilde{t}_Z] \quad (17d)$$

Onde $\gamma_K \equiv \lambda_{KY}/\lambda_{KX} = K_Y/K_X$, $\gamma_L \equiv \lambda_{LY}/\lambda_{LX} = L_Y/L_X$, $A \equiv \gamma_K \gamma'_L + \gamma_L \theta_{YK} + \gamma_K (\theta_{YL} + \theta_{YZ})$, $B \equiv \gamma_K \gamma'_L + \gamma_K \theta_{YL} + \gamma_L (\theta_{YK} + \theta_{YZ})$, $C \equiv \beta_K + \beta_L + \theta_{YZ}$ e $D \equiv (\theta_{XK} \gamma'_K + \theta_{XL} \gamma'_L + 1) \sigma_X + A [\theta_{XK} \theta_{YL} (e_{KL} - e_{LZ}) - \theta_{XL} \theta_{YK} (e_{KK} - e_{KZ})] - B [\theta_{XK} \theta_{YL} (e_{LL} - e_{LZ}) - \theta_{XL} \theta_{YK} (e_{KL} - e_{KZ})] - (\gamma_K - \gamma_L) \sigma_u (\theta_{XK} \theta_{YL} - \theta_{XL} \theta_{YK})$.

Embora a interpretação desta solução geral possa ser limitada pela sua complexidade, alguns efeitos básicos podem ser identificados. Nas equações de mudanças nos preços dos fatores, $\tilde{w}$ e $\tilde{r}$, o último termo, $(\gamma_K - \gamma_L) \sigma_u$, representa o que se denomina “efeito expansão” ou “output effect”. Um imposto sobre as emissões do “setor poluente” reduz a produção deste setor. Uma menor produção, por sua vez, significa uma menor demanda por todos os insumos, mas que particularmente afeta o insumo usado intensivamente pelo setor. Isto tem como consequência a redução da produção. O termo $(\gamma_K - \gamma_L)$ é positivo sempre que o setor poluente for capital-intensivo. Se assim for, e assumindo que o denominador é positivo ($D > 0$), então o aumento do imposto sobre a poluição ($\tilde{t}_Z > 0$) implicará na diminuição do retorno do capital r em relação ao salário w . A magnitude com a qual o capital será onerado depende da expressão $(\gamma_K - \gamma_L)$, do grau de intensidade do capital, e de σ_u , que mede a habilidade do consumidor em substituir o bem que foi taxado.

Os dois primeiros termos das equações (11b) e (11c), por seu turno, representam “efeitos de substituição”. À medida que poluir se torna mais caro, o setor poluente busca ajustar sua demanda pelos três insumos. Os sinais dos efeitos de substituição dependem dos valores das elasticidades Allen e_{ij} .

Consideremos o caso em que as firmas têm a mesma intensidade de fatores ($\gamma_K = \gamma_L$), isto é, ambas são igualmente intensivas em capital/trabalho. Nesse caso, o efeito expansão é nulo, e então se pode mostrar que o efeito de substituição onera o capital mais do que o fator trabalho sempre que $e_{LZ} > e_{KZ}$, isto é, sempre que o trabalho for um melhor substituto para a poluição do que o capital. Quando o preço das emissões aumenta e a firma deseja reduzir suas emissões mantendo o mesmo nível de produção, pode fazê-lo substituindo poluição por capital e trabalho. Se a substituição por trabalho for maior do que a capital, dizemos então que o trabalho é um melhor substituto.

Suponha ainda que além de intensidades iguais dos fatores, a firma se depare com elasticidades preço-cruzada iguais ($e_{LZ} = e_{KZ}$), ou seja, capital e trabalho são igualmente substitutos para poluição. Essa pressuposição adicional elimina também o efeito substituição. Sem nenhum desses efeitos (efeito expansão e efeito substituição), a mudança no imposto não tem efeito sobre os preços relativos de capital e trabalho. Nesse caso, pode ser demonstrado que $\hat{w} = \hat{r} = 0$.

Na equação para $\hat{p}_Y$, o termo final é $\theta_{YZ}\hat{\tau}_Z$. Este termo representa o efeito direto de um imposto crescente sobre a poluição: o aumento do custo em decorrência do imposto é repassado para o preço do produto como proporção da parcela de poluição na produção, θ_{YZ} . O restante da expressão representa todos os efeitos de equilíbrio geral, ou “efeitos indiretos”, que incluem os efeitos de substituição e expansão descritos acima. A dependência dos resultados dos termos cruzados e da parametrização da intensidade de capital/trabalho indica que uma análise específica para uma determinada economia deve ser feita a partir de um modelo aplicado, cuja especificação e calibragem captam esses efeitos.

4.1.2 Modelos aplicados para análise de questões ambientais

Um modelo aplicado de equilíbrio geral envolve utilizar um modelo de equilíbrio geral numericamente especificado para avaliação de políticas. Em outras palavras, o modelo aplicado nada mais é do que a conversão de uma estrutura teórica de equilíbrio geral Walrasiano (WALRAS, 1969) - formalizado nos anos 50 por Kenneth Arrow e Gerard Debreu - caracterizado por uma representação abstrata da economia, em um modelo numérico e detalhado que represente uma economia real. A ideia inerente ao modelo aplicado é avaliar concretamente opções de políticas a partir da especificação de parâmetros de produção e demanda e incorporação de dados empíricos das economias em estudo. A maioria dos modelos de equilíbrio geral aplicados contemporâneos são uma analogia numérica aos tradicionais modelos de equilíbrio geral que James Meade, Harry G. Johnson, Arnold Harberger, e outros popularizaram nos anos de 1950 e 1960. (SHOVEN e WALLEY, 1992)

O modelo Walrasiano fornece uma estrutura adequada para avaliar os efeitos de políticas sobre a alocação de recursos, estimando ganhadores e perdedores, o que não é capturado adequadamente pelos modelos econométricos ou macroeconômicos.

Modelos empíricos walrasianos remontam aos trabalhos pioneiros de Leontief (1941), Johansen (1960), Harberger (1962) e Scarf (1967). Leontief (1941), por exemplo, baseou-se em coeficientes de insumo-produto fixos, incorporando efeitos de substituição tanto na produção quanto na demanda. Johansen (1960), por sua vez, formulou o primeiro modelo empírico multi-setorial, com preço endógenos, para analisar políticas de alocação de recursos na Noruega. Harberger (1962) foi o primeiro autor a analisar políticas de taxa  o em um modelo de equilíbrio geral com dois setores. Outra importante referência é o trabalho desenvolvido por Scarf(1967), que desenvolveu um algoritmo para a determinação numérica do sistema de Walras, que foi fundamental para as gerações posteriores de modelos aplicados.

O uso do termo “walrasiano”, entretanto, remete ao modelo de Arrow-Debreu, elaborado por Arrow e Hahn (1971). No modelo, o número de consumidores é especificado, de tal modo que cada consumidor possui dotações iniciais de N mercadorias, que atrelado a um conjunto de preferências resultam em funções de demanda para cada produto. As demandas do mercado são a soma das demandas individuais. Estas respondem aos preços, são contínuas, não-negativas, homogêneas de grau zero (não há ilusão monetária) e satisfazem à Lei de Walras (ou seja, para qualquer conjunto de preços, o valor total das despesas de consumo deve ser igual à renda do consumidor). Pelo lado da produção, a tecnologia é descrita por funções de produção com retornos constantes de escala, no qual produtores maximizam lucro. A homogeneidade de grau zero das funções de demanda e a homogeneidade linear do lucro em relação a preços implicam que somente os preços relativos são importantes, de forma que níveis absolutos de preços não têm impacto sobre os resultados do equilíbrio. Logo, o equilíbrio no modelo é caracterizado por um conjunto de preços e níveis de produção em cada setor cuja demanda de mercado iguala a oferta para todos os bens. (SHOVEN e WHALLEY, 1992).

A partir desses desenvolvimentos, a construção e aplicação de modelos de equilíbrio geral se difundiu, avaliando diversos temas em economias de diversos países (DIXON e PARMENTER, 1996; BANDARA, 1991; SHOVEN e WHALLEY, 1984; DE MELLO, 1988), inclusive abordando questões ambientais (FORSUND e STROM, 1988; BERGMAN, 1988; JORGENSEN e WILCOXEN, 1990; BONACIC, 1998; dentre outros). Esses modelos, de uma forma ou de outra, endogenizam os efeitos da poluição em funções de produção ou utilidade.

Essa difusão teve impacto, também, sobre o estudo de políticas ambientais, sobretudo, com a intensificação dos debates em torno do aquecimento global e das mudanças climáticas. Modelos de equilíbrio geral computável (EGC), têm se consolidado como a principal ferramenta utilizada nesses estudos, devido à sua capacidade de lidar de forma integrada e consistente com aspectos econômicos e ambientais.

A especificação de um modelo EGC para estudos de políticas ambientais e impactos climáticos deve incluir pelo menos três aspectos (GOTTINGER, 1998; ADAMS *et al*, 2000):

- i) um módulo de uso de energia e emissão de gases, para cada setor e região do modelo;
- ii) equações que permitam substituição entre modos de geração de energia elétrica;
- iii) mecanismos que permitam o abatimento de créditos de carbono decorrentes de políticas mitigatórias da emissão de gases de efeito estufa.

Conforme aponta Tourinho *et al.* (2003), na literatura, os modelos CGE ambientais são distintos pela modelagem e avaliação das atividades poluidoras, podendo ser agrupados em pelo menos quatro tipos.

- i) Tipo 1: a poluição é estimada utilizando coeficientes fixos de intensidade de emissões no qual a poluição ou emissões são proporções do produto setorial final ou dos insumos intermediários. Esta especificação possibilita avaliar a variação no nível de poluição decorrente de mudanças na regulamentação ambiental (BEGHIN *et al.*, 1997)
- ii) Tipo 2: a intensidade setorial não é fixa e depende da escolha tecnológica (tipo de insumos), permitindo análises de preços de energia e possibilitando substituição entre insumos energéticos (gás natural, etanol, gasolina) (JORGENSEN e WILCOXEN, 1990, BURNIAUX e MARTINS, 2000).
- iii) Tipo 3: efeitos de poluição e atividades de abatimento são incorporadas na função utilidade do modelo, com vistas a captar a influência da poluição no consumo dos domicílios (XIE e SALTZMAN, 2000).
- iv) Tipo 4: modelos que incorporam efeitos na produtividade do trabalho, englobando funções de dano e efeitos da poluição sobre a saúde, inclusive da mortalidade e morbidade (WILLIAMS, 2000).

Em anos mais recentes, nessa temática, a literatura tem se debruçado em estudar os efeitos de políticas de redução de emissão de gases de efeito estufa (NORDHAUS, 2008, MANNE, 2005, ROSE, 2009, WEYANT, 1996; SPRINGER, 2003; CLARKE *et al.*, 2009, JORGENSEN e WILCOXEN, 1993, dentre outros). Nessa seção, faz-se uma apreciação da literatura sobre o tema a partir de estudos que utilizam modelos EGC.

Diversos estudos tentaram quantificar os custos das metas acordadas no Protocolo de Quioto, a partir de diferentes cenários. Nordhaus (2008), através do modelo DICE, analisa taxas de carbono necessárias para um conjunto de diferentes políticas globais. As estimativas sugerem que o preço do carbono no mercado mundial em 2025 poderia ir de US\$ 53,15 (no caso do fortalecimento do protocolo de Quioto, com a participação dos Estados Unidos e da China) a US\$264,73 se a meta de redução de emissões acordada globalmente fosse de 90%. Os resultados também indicam que políticas examinadas no âmbito do Protocolo de Quioto seriam ineficientes, dada a pouca efetividade na redução de emissões de forma e os custos gerados na implementação das mesmas (NORDHAUS, 2007).

Revisões de literatura sobre modelos de projeção avaliando políticas de redução de emissões, no âmbito do Protocolo de Quioto, podem ainda ser encontradas em Manne (2005), Rose (2009), Weyant, (1996); Springer, (2003) e Clarke *et. al*, (2009).

Manne (2005) avalia alguns modelos EGC, aplicados ao tema das mudanças climáticas globais, destacando a análise de cenários derivados do Protocolo de Quioto. O autor analisa um conjunto de 13 modelos³⁶ utilizados no *Energy Modeling Forum* (EMF) para a análise de cenários de emissão e políticas de redução de emissões. Os modelos analisados variam amplamente na sua configuração regional, setorial e metodológica (estática comparativa, intertemporal e dinâmica recursiva). Um resultado interessante diz respeito ao intervalo dos custos de redução de emissões ou tarifas de carbono necessárias para se atingir as metas do Protocolo. O intervalo desses custos marginais estaria entre US\$20 a US\$200 por tonelada de carbono, dependendo do modelo

³⁶ ABARE-GTEM (Global Trade and Environmental Model); AIM (Asian-Pacific Integrated Model); CETA (Carbon Emissions Trajectory Assessment); FUND (Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution); G-Cubed (Global General Equilibrium Growth Model); GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect the Environment); MERGE 3.0 (Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies); MIT-EPPA (Emissions Projection and Policy Analysis Model); MS-MRT (Multi-Sector-Multi-Region Trade Model); Oxford Model (Oxford Economic Forecasting); RICE (Regional Integrated Climate and Economy Model); SGM (Second Generation Model) and WorldScan.

utilizado. A amplitude destes resultados é uma consequência das hipóteses sobre diversos aspectos dos modelos, como elasticidades-preço, respostas de ajustamento e cenário-base de crescimento. Os modelos convergem, entretanto, na conclusão de que uma política de comércio de permissões de emissões implicaria menores custos econômicos no atendimento das metas do Protocolo.

Rose (2009) analisa trabalhos que discutem políticas nacionais e regionais de mitigação, principalmente nos EUA, que utilizaram modelos aplicados de equilíbrio geral. As análises perpassam temas como i) impactos da taxação de gasolina e diesel sobre consumidores, e seu efeito regressivo, desfavorável aos grupos de menor renda, ii) análise dos efeitos de um mercado de carbono para a economia americana, cujo preço das permissões se situaria entre US\$33 e US\$128 por tonelada de carbono (dólares de 1999), com grande impacto negativo sobre as indústrias intensivas em carbono; e iii) efeitos da taxação e mercado de carbono sobre diversos estados americanos, indicando relativamente baixos custos para o atendimento das metas, especialmente se considerar a comercialização de permissões de emissões com mercados de carbono já existentes.

Os modelos cobertos por Springer (2003)³⁷, por sua vez, mostram estimativas de preços de carbono mundiais que diferem consideravelmente, variando de US\$ 3/tCO₂ a US\$ 74/tCO₂ (a preços de 2000), sob um cenário comum, em que apenas países do Anexo I comercializam permissões. O custo marginal tem uma redução considerável quando se aplica o cenário de comércio entre todos os países, com a possibilidade inclusive de mecanismos de flexibilidade. Neste caso, o preço do carbono se situa entre US\$ 1/tCO₂ a US\$ 22/tCO₂, com um maior volume de permissões negociadas. Na revisão de estudos realizada por Clarke *et al.* (2009)³⁸ os custos de uma política de carbono global para manter o nível de 550 ppm de CO₂-e, podem variar entre US\$ 3.8 trilhões a US\$ 64.5 trilhões (2005), dependendo do cenário e modelo utilizados. O preço do carbono, por sua vez, varia de US\$4/tCO₂ a US\$256/tCO₂ a preços de 2005 em 2020, dependendo do estudo. Além disso, os países em desenvolvimento, com especial atenção aos BRICs (Brasil, Rússia, Índia, China), poderiam se beneficiar de ganhos substanciais em um

³⁷ Bernstein *et al.* (1999b), Bollen *et al.* (1999), Capros (1999), Ciorba *et al.* (2001), Cooper *et al.* (1999), Criqui and Viguier (2000), Ellerman *et al.* (1998), Kainuma *et al.* (1999), Kurosawa *et al.* (1999), Manne and Richels (2000), McKibbin *et al.* (1999b), Nordhaus and Boyer (1999), Stevens and Rose (2002), Sijm *et al.* (2000), Tulpule *et al.* (1999), van der Mensbrugghe (1998).

³⁸ A revisão de trabalhos propostos por Clarke *et al.* (2009) cobre os modelos desenvolvidos no âmbito da EMF 22: Loulou *et al.* (2009), Gurney *et al.* (2009), van Vliet *et al.* (2009), Blanford *et al.* (2009), Krey and Riahi (2009), Calvin *et al.* (2009), Russ *et al.* (2009), Calvin *et al.* (2009) e Bosetti *et al.* (2009).

cenário em que sejam incluídos no comércio de emissões. As estimativas apontam ganhos potenciais de cerca de US\$ 10 trilhões. Isto poderia ser um incentivo suficiente para que os países em desenvolvimento participassem ativamente do comércio de permissões de emissões com metas obrigatórias, em vez de participar apenas do comércio mais restrito do MDL (TOL, 2009). Soma-se a este ganho uma significativa redução de emissões globais com a inclusão do China no mercado de carbono, embora nas estimativas também se verifique uma diminuição do bem-estar nesse país (KEMFERT e KREMERS, 2003).

Wing (2004) analisa os impactos da taxação de carbono na economia norte-americana, simulando o efeito da imposição de taxas adicionais sobre as emissões de CO₂ (US\$ 50, US\$ 100, US\$ 150, US\$ 200 por tonelada de carbono), a partir do modelo EPPA-MIT (modelo recursivo dinâmico que avalia o impacto de políticas de energia e meio-ambiente na economia global). As simulações implementadas indicaram que há substanciais oportunidades de abatimento com baixo custo (taxação de US\$ 50) em muitas indústrias, mas reduções incrementais são mais custosas (nível de taxa maior que US\$ 100). O modelo indica, no entanto, que uma taxa de US\$ 200 por tonelada de carbono pode reduzir as emissões em quase 2/3 do nível base, o que implicaria um custo de bem-estar em quase 1% do consumo.

No Brasil, a literatura sobre o tema é relativamente recente. Aplicações que consideram restrições às emissões de gases de efeito estufa incluem: Guilhoto *et al*, 2002; Tourinho *et al*, (2003); Rocha (2003); Hilgemberg *et al* (2005), Ferreira Filho e Rocha (2007); Feijó e Porto Jr. (2009); Lima (2011); Silva e Gurgel (2012), Gurgel (2012).

Um dos primeiros modelos construídos para projetar impactos ambientais e regionais do crescimento econômico no Brasil foi o modelo MIBRA (Modelo Inter-regional para a Economia Brasileira) (GUILHOTO *et al*, 2002). Os resultados ambientais eram estimados a partir da multiplicação dos resultados econômicos simulados pelo modelo por coeficientes de intensidade de poluição ou uso do recurso ambiental. A principal conclusão, segundo os autores, apontou que uma desconcentração regional fora do eixo Sul-Sudeste permite que taxas de crescimento mais elevadas aumentam o ganho de eficiência ambiental ao gerar taxas de crescimento menores nas razões da carga industrial poluidora ou do nível de uso de água e energia por unidade de valor produzido.

A primeira aplicação ambiental de restrição às emissões de GEE encontra-se em Tourinho *et al.* (2003), que utiliza um modelo estático EGC adaptado para a economia brasileira (ano base 1998). A parte ambiental do modelo é semelhante à utilizada pelo modelo MIBRA (GUILHOTO *et al.*, 2002), no qual são estimados os volumes de poluição através da multiplicação do valor da produção ou demanda final pelo coeficiente de poluição. Os autores avaliaram os principais impactos macroeconômicos e setoriais de uma política de redução das emissões de CO₂ para diferentes níveis de taxaço sobre a quantidade de carbono: US\$3, US\$10 e US\$20 por tonelada. Os resultados indicaram um impacto pequeno no longo prazo sobre o nível total de emissões, variando entre 0,198% e 1,36%, com os setores de transportes, siderurgia e açúcar apresentando os maiores níveis de redução de emissões.

Hilgemberg *et al.* (2005), por sua vez, analisaram as emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo em seis regiões brasileiras e consideraram os impactos de políticas de controle de emissões por meio de um modelo inter-regional de insumo-produto. Os autores simulam uma elevação de R\$ 1 milhão na demanda final com o objetivo de verificar os impactos nas emissões adicionais de CO₂, e concluem que o efeito total nas emissões seriam mais intensos nos setores da região Nordeste. Os autores adotaram uma restrição de 1% sobre o nível atual de emissões de determinado setor em cada região do modelo a fim de verificar os efeitos regionais do controle de emissões.

Ferreira Filho e Rocha (2007) avaliaram um conjunto de políticas de taxaço de carbono sob diferentes hipóteses em simulações com um modelo EGC para o Brasil – MOSAICO-GEE. Nesse trabalho, os autores utilizaram dados do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões (2006), que detalha as emissões para os anos de 1990 a 1996. O modelo reflete as condições da economia brasileira em 1996, e é uma referencia importante, pois se baseia na estrutura ambiental do modelo MMRF-Green (ADAMS *et al.*, 2002), modelo este que esta tese também toma como referência. Porém, o modelo MOSAICO-GEE é estático e apresenta em sua especificação padrão em relação à questão energética. Os cenários simulados referem-se a taxações de carbono sob diferentes hipóteses envolvendo a incidência do imposto sobre diferentes fontes (consumo de combustíveis e nível de atividade dos setores, por exemplo). Os resultados mostram impactos diferenciados entre os diferentes setores produtivos. Ademais, indicam que políticas de taxaço de emissões seriam mais eficientes se atingissem

também as emissões associadas ao nível de atividade, ao invés de apenas emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis. No cenário de taxaço sobre o uso de combustíveis e nível de atividade dos setores, os resultados da imposição de um imposto em R\$10/tonelada de CO₂-e indicam uma queda de -0,39% do PIB no longo prazo a uma redução de -4,96% nas emissões totais.

Impactos econômicos para o Brasil dentro de um cenário de comércio global de certificados podem ser encontrados nos trabalhos de Feijó & Porto Júnior (2008) e Barbier et. al. (2003). Feijó & Porto Júnior (2008) utilizam diferentes cenários de comercialização de permissões mundiais no âmbito do Protocolo de Quioto para avaliar os efeitos sobre o Brasil. As simulações, a partir do modelo de equilíbrio geral computável GTAP-E (*Global Trade Analysis Project – Energy*), desenvolvido na Universidade de Purdue (EUA)³⁹, consideraram apenas as emissões do uso de combustíveis fósseis. Os resultados indicam que o custo em relação ao PIB para o Brasil é pequeno variando entre -0,04% (cenário com inclusão de países em desenvolvimento com metas obrigatórias) a um ganho de 0,02% no PIB (cenário sem comércio de emissões). Estes cenários para o caso brasileiro geraram uma perspectiva de melhora no bem-estar econômico, calculado a partir da variação equivalente da renda⁴⁰, inclusive com um fluxo positivo de recursos para o Brasil gerado pela venda de permissões de emissões para outros países. Este resultado também é corroborado pelo estudo de Barbier et.al.(2003), os quais apontam um aumento de bem-estar da implementação de um sistema de “*cap-and-trade*” mundial no qual o Brasil se insere vendendo direitos de permissão através dos mecanismos de flexibilidade, como o MDL. Em termos quantitativos, o aumento de bem-estar é da ordem de 0,45% em 2015⁴¹. Este resultado pode ser entendido como uma evidência do potencial brasileiro como vendedor de certificados de redução de emissões em um contexto de mercado de carbono global.

Na mesma temática, Rocha (2003) utilizou o modelo CERT (*Carbon Emission Reduction Trade*) estimando cenários de maior participação brasileira no mercado de

³⁹ O modelo GTAP-E é uma versão estendida do modelo GTAP, ambos documentados em diversos estudos (BURNIAUX e TRUONG, 2002; MCDUGALL e GOLUB, 2007).

⁴⁰ A variação equivalente da renda mede o ganho, em termos de bem-estar, decorrente da mudança de preços que o consumidor se defronta. Assim, se a variação de preços permite ao consumidor adquirir sua cesta de consumo original com menor custo, e, portanto implicitamente com um ganho equivalente de renda, então afirma-se que o consumidor experimentou um ganho de bem-estar decorrente dessa variação de preços.

⁴¹ A medida de bem-estar é baseada na variação equivalente de renda.

carbono através do MDL. O modelo utiliza informações de modelos distintos para estimar a oferta e demanda do mercado de comércio de emissões dentro do Protocolo de Quioto através da estimação de curvas de custo marginal de abatimento. As projeções sugerem que a participação brasileira dentre os cenários varia de 3,4% a 17,8%, gerando lucros entre US\$ 130 milhões a US\$ 327,6 milhões.

Em trabalhos recentes, Silva e Gurgel (2012) e Gurgel (2012) estimam os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil, utilizando o modelo EPPA (*Emissions Prediction and Policy Analysis*), um modelo global, desenvolvido no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) (PALTSEV *et al.*, 2005). O modelo é interligado a modelos climáticos e físicos, capaz de representar as principais fontes de emissões de GEE, como o consumo de combustíveis, nível de atividade e também as mudanças no uso da terra. No trabalho de Silva e Gurgel (2012), simulações com metas de redução de emissões progressivas de 3% a 30% no período de 2015 a 2050, representam impostos que chegam a US\$ 209, US\$151 e US\$ 142 por tonelada de CO₂ equivalente em 2050 nos setores de serviços, transportes e intensivos em energia, respectivamente. As metas, no entanto, geram impactos negativos pequenos, levando a uma perda acumulada de apenas 1% a 2% do PIB.

Os resultados apresentados por Gurgel (2012) sugerem que políticas de metas de redução de emissões no Brasil, dependendo dos prazos para o alcance das metas, podem ter efeitos mais severos em termos do custo da política. Uma meta de redução de emissões em torno de 5% para a agropecuária e uso de energia conjugado a uma queda de 56% nas emissões derivadas do uso da terra até 2020, representam custos pequenos em relação ao PIB (-0,2% em relação ao cenário base). Contudo, a intensificação das metas podem gerar perdas crescentes, que chegam a 4% do PIB em 2050. Em relação aos resultados setoriais, as simulações do estudo revelam mudanças estruturais importantes na economia em 2050, no qual setores ligados a combustíveis fósseis e transportes são os mais afetados.

Conforme se pode observar, a literatura nacional sobre a análise de impactos de políticas de mitigação ou de baixo carbono ainda tem alto potencial de desenvolvimento. A maior parte dos modelos utilizados se baseiam em modelos de insumo-produto ou modelos estáticos EGC mais agregados com abordagens energéticas

“*top-down*”⁴². Em que pesem esses referenciais, abre-se espaço para o desenvolvimento de modelos mais sofisticados, com maior detalhamento energético e ambiental para a avaliação dos impactos de políticas de mitigação das mudanças climáticas no Brasil. Esta tese contribui com esta literatura ao desenvolver um modelo EGC nacional, dinâmico, especialmente construído para a realidade e especificidade brasileira.

4.2 Modelo BeGreen: especificação e calibragem

4.2.1 Características gerais do modelo

O modelo de equilíbrio geral computável (EGC) construído neste trabalho é denominado BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*). O BeGreen incorpora três importantes avanços para os objetivos desta tese: i) um módulo de detalhada especificação energética, ii) um módulo ambiental que permite a projeção de políticas de redução de emissões, e iii) uma estrutura de dinâmica recursiva.

Os dois primeiros elementos são fundamentais para os objetivos desta tese, na medida em que permitem analisar, consistentemente, políticas de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) para a economia brasileira a partir da incorporação de um módulo detalhado de especificação energética e ambiental, que serão mais bem discutidos nas próximas seções. Além disso, o modelo é calibrado para os dados mais recentes das contas nacionais, da matriz de insumo-produto e do inventário brasileiro de emissões (2005). A estrutura de dinâmica recursiva agrega mais um diferencial. Por se tratar de uma questão de longo prazo, as respostas às políticas dependem significativamente das projeções de um cenário base para a economia, envolvendo pressuposições acerca das taxas de crescimento de inúmeras variáveis determinantes, tais como PIB, população, consumo, investimento, para vários anos. Este aspecto possibilita a implementação de simulações datadas em que as restrições de emissões de GEE são relativas a um cenário de referência como propõe a Política Nacional da Mudança do Clima. Outro ponto favorável são os mecanismos mais sofisticados da modelagem, sobretudo, referente à dinâmica de ajustamento do estoque de capital e do emprego, que são obtidos

⁴² Estas características serão mais bem detalhadas na seção seguinte, com a apresentação do modelo construído para esta tese.

endogenamente, via regras de acumulação. Estas características em modelos EGC (dinâmica recursiva e detalhada especificação energética e ambiental) são relativamente novas na literatura brasileira.

Em linhas gerais, os modelos EGC nacionais e regionais aplicados a economia brasileira são utilizados em exercícios de estática comparativa. Dentre estes modelos, sob a abordagem de Johansen⁴³, pode-se destacar: a) o modelo PAPA (GUILHOTO, 1995), desenvolvido para a economia nacional, que foi utilizado para análise de políticas agrícolas; b) o modelo TERM-BR (FERREIRA FILHO, 1998), utilizado para análise do desenvolvimento agrícola; c) o modelo B-MARIA (HADDAD, 1999), calibrado para três regiões (Norte, Nordeste e Centro-Sul), implementado para discutir aspectos da desigualdade regional e de mudança estrutural na economia brasileira; d) o modelo SPARTA (DOMINGUES, 2002), aplicado para análise da dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas; e) o modelo MINAS-SPACE (ALMEIDA, 2003), modelo EGC espacial, utilizado no planejamento e análise de políticas de transporte; f) o modelo B-MARIA-IT (PEROBELLI, 2004) elaborado para analisar as interações entre as unidades federativas e suas relações mercantis com o restante do mundo. Como já mencionado, os modelos de Tourinho *et al* (2003) e Ferreira Filho e Rocha (2007), que abordam a questão ambiental, também se configuram como modelos de estática-comparativa e são relativamente agregados.

Alguns modelos com características recursivas foram aplicados para a economia brasileira. O modelo de Fochezato e Souza (2000), calibrado para o ano base de 1994 utiliza a estrutura de dinâmica recursiva. Desenvolvido para análise nacional, projeta impactos de políticas de estabilização e reformas estruturais da economia brasileira. O modelo MIBRA (HASEGAWA, 2003), por sua vez, ao incorporar endogenamente os investimentos numa estrutura recursiva, examinou as propostas efetivas do governo federal diante de uma combinação entre aumento de investimentos, gastos públicos e produtividade dos fatores de produção. O modelo global EPPA, desenvolvido no MIT, (SILVA e GURGEL, 2012; GURGEL, 2012), capacitado para a análise de políticas de redução de emissões na economia brasileira.

⁴³ Esta abordagem se caracteriza pela implementação do modelo linearizado e das variáveis na forma de taxas de variação percentual, segundo a contribuição de Johansen (1960).

Assim, tendo em vista o estado da arte dos modelos de dinâmica recursiva para o Brasil, o modelo BeGreen configura-se como um dos primeiros modelos EGC de dinâmica recursiva para a economia brasileira capacitado à análise ambiental e energética. O banco de dados inclui um elevado nível de desagregação de produtos e setores, possibilitando o tratamento detalhado de energia e emissões. Isso potencializa a capacidade do modelo para analisar os impactos de políticas de mitigação de gases de efeito estufa. O modelo é multi-produto, composto por 124 produtos e 58 setores, conforme indicado no quadro 3 e 4, respectivamente. Soma-se ainda 14 componentes da demanda final (consumo das famílias – 10 famílias representativas, consumo do governo, investimento, exportações e estoques), três elementos de fatores primários (capital, trabalho e terra), dois setores de margens (comércio e transportes), importações por produto para cada um dos 58 setores e 14 componentes da demanda final, um agregado de impostos indiretos e um agregado de impostos sobre a produção. Um procedimento específico de condensação de variáveis e equações, para as simulações reduz o modelo a cerca de 109.000 variáveis e equações. A construção da base de dados será detalhada na seção 4.2.

QUADRO 3 - Classificação dos setores do modelo BeGreen

Código	Setores	Código	Setores
S1	Agricultura, silvicultura, exploração florestal	S30	Eletrodomésticos
S2	Pecuária e pesca	S31	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
S3	Petróleo e gás natural	S32	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
S4	Minério de ferro	S33	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
S5	Outros da indústria extrativa	S34	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
S6	Alimentos e Bebidas	S35	Automóveis, camionetas e utilitários
S7	Produtos do fumo	S36	Caminhões e ônibus
S8	Têxteis	S37	Peças e acessórios para veículos automotores
S9	Artigos do vestuário e acessórios	S38	Outros equipamentos de transporte
S10	Artefatos de couro e calçados	S39	Móveis e produtos das indústrias diversas
S11	Produtos de madeira - exclusive móveis	S40	Geração de eletricidade
S12	Celulose e produtos de papel	S41	Transmissão e distribuição de eletricidade
S13	Jornais, revistas, discos	S42	Distribuição de gás natural
S14	Refino de petróleo e coque	S43	Água, esgoto e limpeza urbana
S15	Alcool	S44	Construção
S16	Produtos químicos	S45	Comércio
S17	Fabricação de resina e elastômeros	S46	Transporte, armazenagem e correio
S18	Produtos farmacêuticos	S47	Serviços de informação
S19	Defensivos agrícolas	S48	Intermediação financeira e seguros
S20	Perfumaria, higiene e limpeza	S49	Serviços imobiliários e aluguel
S21	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	S50	Serviços de manutenção e reparação
S22	Produtos e preparados químicos diversos	S51	Serviços de alojamento e alimentação
S23	Artigos de borracha e plástico	S52	Serviços prestados às empresas
S24	Cimento	S53	Educação mercantil
S25	Outros produtos de minerais não-metálicos	S54	Saúde mercantil
S26	Fabricação de aço e derivados	S55	Outros serviços
S27	Metalurgia de metais não-ferrosos	S56	Educação pública
S28	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	S57	Saúde pública
S29	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	S58	Administração pública e seguridade social

Fonte: Elaboração própria

QUADRO 4 - Classificação dos produtos do modelo BeGreen

Código	Produtos	Código	Produtos
C1	Arroz em casca	C63	Querosene
C2	Milho em grão	C64	Coque
C3	Trigo em grão e outros cereais	C65	Outros produtos do refino de petróleo e coque
C4	Cana-de-açúcar	C66	Álcool
C5	Soja em grão	C67	Urânio
C6	Outros produtos e serviços da lavoura	C68	Outros produtos químicos inorgânicos
C7	Mandioca	C69	Produtos químicos orgânicos
C8	Fumo em folha	C70	Fabricação de resina e elastômeros
C9	Algodão herbáceo	C71	Produtos farmacêuticos
C10	Frutas cítricas	C72	Defensivos agrícolas
C11	Café em grão	C73	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza
C12	Lenha	C74	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
C13	Carvão vegetal	C75	Produtos e preparados químicos diversos
C14	Outros produtos da exploração florestal e da silvicultura	C76	Artigos de borracha
C15	Bovinos e outros animais vivos	C77	Artigos de plástico
C16	Leite de vaca e de outros animais	C78	Cimento
C17	Suínos vivos	C79	Outros produtos de minerais não-metálicos
C18	Aves vivas	C80	Gusa e ferro-ligas
C19	Ovos de galinha e de outras aves	C81	Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço
C20	Pesca e aquicultura	C82	Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos
C21	Petróleo	C83	Fundidos de aço
C22	Gás natural	C84	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamento
C23	Minério de ferro	C85	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
C24	Carvão metalúrgico	C86	Eletrodomésticos
C25	Carvão mineral	C87	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
C26	Minerais metálicos não-ferrosos	C88	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
C27	Minerais não-metálicos	C89	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
C28	Abate e preparação de produtos de carne	C90	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
C29	Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada	C91	Automóveis, camionetas e utilitários
C30	Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada	C92	Caminhões e ônibus
C31	Pescado industrializado	C93	Peças e acessórios para veículos automotores
C32	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais	C94	Outros equipamentos de transporte
C33	Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja	C95	Móveis e produtos das indústrias diversas
C34	Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho	C96	Sucatas recicladas
C35	Óleo de soja refinado	C97	Energia hidroelétrica pública
C36	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	C98	Energia hidroelétrica auto geração
C37	Produtos do laticínio e sorvetes	C99	Energia térmica pública
C38	Arroz beneficiado e produtos derivados	C100	Energia térmica auto geração
C39	Farinha de trigo e derivados	C101	Energia eólica pública
C40	Farinha de mandioca e outros	C102	Distribuição de energia elétrica
C41	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações	C103	Distribuição de gás natural
C42	Bagaço de cana	C104	Outros serviços urbanos
C43	Outros produtos das usinas e do refino de açúcar	C105	Construção
C44	Café torrado e moído	C106	Comércio
C45	Café solúvel	C107	Transporte de carga
C46	Outros produtos alimentares	C108	Transporte de passageiro
C47	Bebidas	C109	Correio
C48	Produtos do fumo	C110	Serviços de informação
C49	Beneficiamento de algodão e de outros têxteis e fição	C111	Intermediação financeira e seguros
C50	Tecelagem	C112	Serviços imobiliários e aluguel
C51	Fabricação outros produtos têxteis	C113	Aluguel imputado
C52	Artigos do vestuário e acessórios	C114	Serviços de manutenção e reparação
C53	Preparação do couro e fabricação de artefatos	C115	Serviços de alojamento e alimentação
C54	Fabricação de calçados	C116	Serviços prestados às empresas
C55	Produtos de madeira - exclusive móveis	C117	Educação mercantil
C56	Celulose e outras pastas para fabricação de papel	C118	Saúde mercantil
C57	Papel e papelão, embalagens e artefatos	C119	Serviços prestados às famílias
C58	Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados	C120	Serviços associativos
C59	Gás liquefeito de petróleo	C121	Serviços domésticos
C60	Gasolina	C122	Educação pública
C61	Óleo combustível	C123	Saúde pública
C62	Óleo diesel	C124	Serviço público e seguridade social

Fonte: Elaboração própria

Em linhas gerais, a estrutura central do modelo EGC é composta por blocos de equações que determinam relações de oferta e demanda, derivadas de hipóteses de otimização, e condições de equilíbrio de mercado. Além disso, vários agregados nacionais são definidos nesse bloco, como nível de emprego, saldo comercial e índices de preços. Os setores produtivos minimizam custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala. Um dos diferenciais do modelo refere-se à especificação de vetores tecnológicos em setores intensivos em energia e compostos energéticos para os demais setores. Maiores detalhes serão apresentados na seção seguinte.

As famílias estão desagregadas de acordo com decis de renda obtidos a partir dos dados da POF, totalizando 10 famílias representativas. A demanda das famílias é especificada a partir de uma função de utilidade não-homotética de Stone-Geary (PETER *et al*, 1996). A composição do consumo por produto entre doméstico e importado é controlada por meio de funções de elasticidade de substituição constante (CES). As exportações setoriais respondem a curvas de demanda negativamente associadas aos custos domésticos de produção e positivamente afetadas pela expansão exógena da renda internacional, adotando-se a hipótese de país pequeno no comércio internacional. O consumo do governo é tipicamente exógeno, podendo estar associado ou não ao consumo das famílias ou à arrecadação de impostos. Os estoques se acumulam de acordo com a variação da produção.

A especificação de dinâmica recursiva é baseada na modelagem do comportamento intertemporal e em resultados de períodos anteriores (*backward looking*). As condições econômicas correntes, tais como a disponibilidade de capital, são endogenamente dependentes dos períodos posteriores, mas permanecem não afetadas por expectativas de *forward-looking*. Deste modo, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento inter-setorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas à taxa de depreciação e taxas de retorno. Além disso, assume-se um amortecimento das respostas do investimento. O mercado de trabalho também apresenta um elemento de ajuste intertemporal, que envolve três variáveis: salário real, emprego atual e emprego tendencial. Maiores detalhes desta especificação serão apresentadas na seção 4.1

O módulo ambiental, por sua vez, possibilita a contabilidade de emissões de GEE (CO₂ equivalente), separando-as por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias), e

atividade emissora e possui mecanismos que capacitam o modelo à análise de políticas de redução de emissões, tais como controle de emissões, taxaço ou mesmo políticas de melhoria na eficiência energética.

A seguir, as principais características do modelo são descritas em maiores detalhes:

4.2.2 Estrutura teórica do modelo

4.2.2.1 Estrutura de produção

No modelo BeGreen, cada setor pode produzir mais de um produto, utilizando-se de insumos energéticos, insumos intermediários e fatores primários como trabalho, capital e terra. Em cada setor, as firmas apresentam um comportamento otimizador, na qual escolhem uma combinação de insumos que minimiza o custo de produção para um dado nível de produto, sujeito a tecnologias de retornos constantes de escala. Contudo, um importante aprimoramento da estrutura teórica de produção diz respeito à especificação energética, fundamental para as questões a serem tratadas nesta tese. O modelo BeGreen, portanto, especifica duas categorias distintas de setores produtivos agrupados da seguinte forma: i) setores com tecnologias de produção com vetores tecnológicos e ii) setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos.

As subseções seguintes detalham as tecnologias de produção para as duas classes de setores, determinando as especificidades de cada uma.

4.1.2.1.1 Setores com tecnologias de produção com vetores tecnológicos

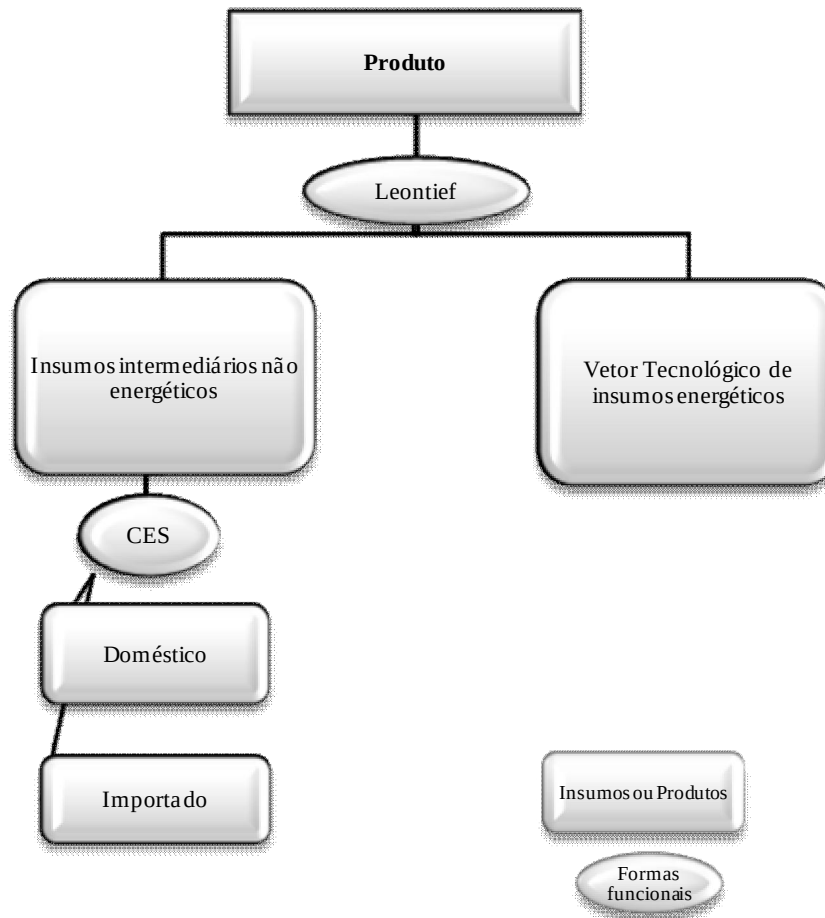
A distinção entre a abordagem “top-down” e “bottom-up” para a modelagem de setores intensivos em energia tem recebido grande atenção nas recentes discussões sobre o estudo de políticas de mitigação de gases de efeito estufa. Os modelos “top-down” são usualmente modelos agregados, cujos setores energéticos são modelados por funções de produção aninhadas, a partir da combinação de insumos que podem ser continuamente substituídos uns pelos outros via mudança nos preços relativos. A maioria dos modelos EGC utiliza tal abordagem. Modelos “bottom-up”, por sua vez, têm como principal característica, a maior sofisticação e detalhamento quanto à questão energética,

identificando tecnologias alternativas que podem ser usadas na produção de um dado bem.

O padrão de uso de insumos e resposta da produção obtidos pelos dois tipos de modelos podem diferir significativamente. Os modelos “bottom-up” alcançam um grau de realismo maior com relação às opções de substituição na árvore de tecnologia de produção dos setores energéticos enquanto os modelos “top-down” são superiores em capturar as interações com os demais setores da economia (ABARE, 1996).

No modelo BeGreen um esforço foi feito para se mover em direção ao maior realismo da abordagem “bottom-up” na modelagem de setores intensivos em energia, mas ainda mantendo a interação com os outros setores da economia obtida a partir da abordagem “top-down”. Assim, o modelo BeGreen traz como inovação para os modelos brasileiros a abordagem *bottom-up* conhecida como “Vetor Tecnológico” (MCDOUGALL, 1993; HINCHY e HANSLOW, 1996; ADAMS *et al*, 2002; LI *et al*, 2000, ABARE, 1996) em setores particularmente intensivos em energia, onde as opções de substituição de insumos são relevantes para o propósito de simular políticas de mitigação de gases de efeito estufa. Tal estrutura foi inspirada no modelo ABARE-GTEM (*Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics Global Trade and Environment Model*), modelo EGC dinâmico para o tratamento de questões ambientais globais (ABARE, 1996). A especificação de vetores tecnológicos possibilita a introdução de uma restrição sobre a substituição entre os insumos, tornando-a consistente com as características de tecnologias específicas e conhecidas. Isto evita a possibilidade de obtenção de substituição ou combinação de insumos tecnicamente não factíveis. No modelo BeGreen, dois setores se enquadram nesta categoria por apresentarem tecnologias de produção bem caracterizadas: Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados. A Figura 3 apresenta a estrutura de produção implementada no modelo para tais setores.

FIGURA 4 - Estrutura hierárquica da tecnologia de produção para setores sob a hipótese de vetor tecnológico



Fonte: Elaboração própria

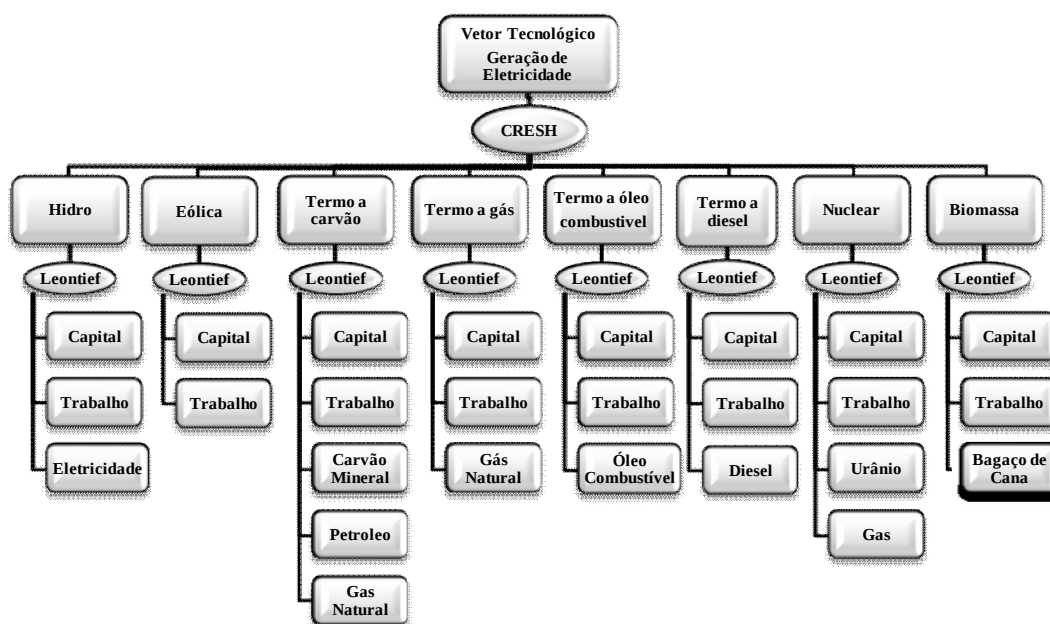
Esta especificação define 3 níveis de otimização no processo produtivo dos setores, acrescidos do nível de otimização dos vetores tecnológicos inerentes a cada um. Descrevendo-a de baixo para cima, tem-se:

- i) no primeiro nível uma função de elasticidade de substituição constante, CES, é utilizada na combinação dos insumos intermediários domésticos e importados.

- ii) no segundo nível, é adotada a hipótese de combinação em proporção fixa no uso dos insumos intermediários não energéticos e do vetor tecnológico, através de uma especificação do tipo Leontief;
- iii) no terceiro nível, comum a todos os setores do modelo, dois blocos de agregação por elasticidade de transformação constante (CET) são adotados para a composição da produção do setor em seus produtos, e destes produtos para destinação local ou exportações. Este mecanismo estabelece uma diferenciação entre os bens destinados à exportação e ao mercado local.

Complementando a estrutura apresentada na Figura 4, a Figuras 5 e 6 apresentam as especificações tecnológicas dos setores de Geração de Eletricidade (Eletricidade) e Fabricação de aço e derivados (Siderurgia).

FIGURA 5 - Estrutura hierárquica do vetor tecnológico da Geração de Eletricidade

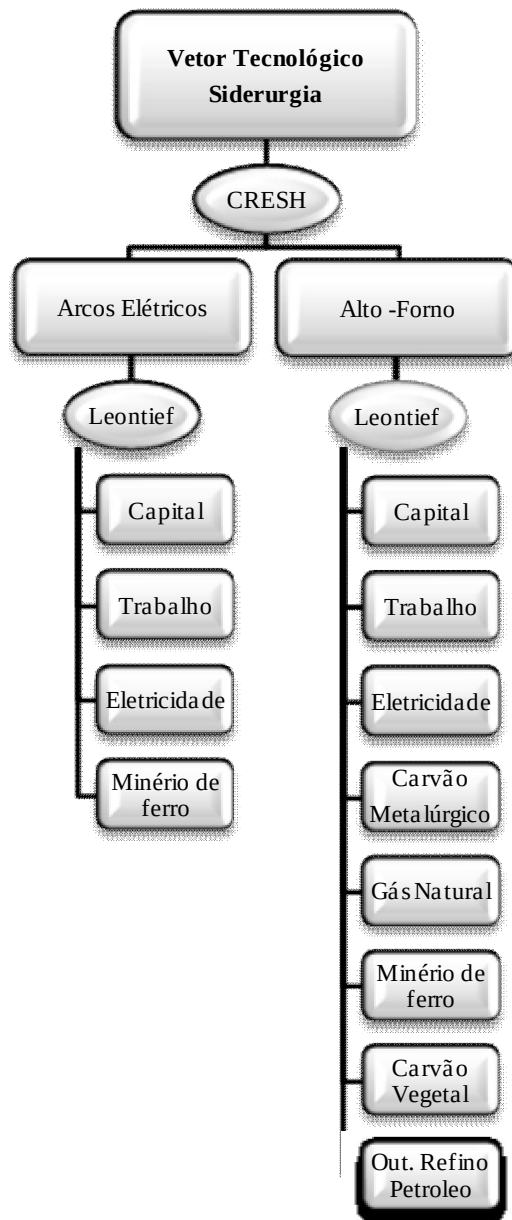


Fonte: Elaboração própria

O primeiro setor incorpora 10 tecnologias distintas de produção, sendo elas: (i) geração hidroelétrica (“hidro”); (ii) geração eólica (“eólica”); (iii) geração termoeletrica a carvão (“termo a carvão”); (iv) geração termoeletrica a gás natural (“termo a gás”); (v) geração termoeletrica a óleo combustível (“termo a óleo combustível”); (vi) geração

termoelétrica a diesel (“termo a diesel”); (vii) geração nuclear (“nuclear”); e (viii) geração a biomassa (“biomassa”). No setor Fabricação de aço e derivados, podem ser utilizadas duas tecnologias distintas: a siderurgia por altos-fornos e (ii) a siderurgia por arcos elétricos (Figura 6). Cada tecnologia é uma composição de insumos energéticos específicos e fatores primários, como capital e trabalho.

FIGURA 6 - Estrutura hierárquica do vetor tecnológico da Siderurgia



Fonte: Elaboração própria

Tais estruturas são definidas por dois níveis. O primeiro nível está associado à composição de cada tecnologia a partir da hipótese de combinação em proporções fixas de insumos intermediários energéticos específicos e fatores primários, como capital e trabalho (Leontief). No segundo nível, por seu turno, as diferentes tecnologias podem ser parcialmente substituídas (hipótese de substitubilidade imperfeita) de acordo com funções de produção CRESH (*constant ratio of elasticities of substitution, homothetic*). (HANOCH, 1971; DIXON *et al*, 1982). A função CRESH é uma forma generalizada da função CES apresentada primeiramente por Hanoch (1971). Nesses setores, assume-se que as firmas resolvem o problema de minimização dos custos através de uma agregação CRESH de tecnologias de produção, escolhendo uma composição de tecnologias possíveis. Essa abordagem assegura que o padrão de uso dos insumos seja consistente com tecnologias conhecidas, que não é necessariamente o caso da modelagem “top-down”. A ideia básica, portanto, da abordagem de vetores tecnológicos é que a produção é uma função derivada de uma combinação ponderada de diferentes tecnologias.

Formalmente, a forma geral da função CRESH é definida como:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{Y} \right)^{d_i} \frac{D_i}{d} = \kappa$$

Onde Y representa o produto e o vetor x_i ($i=1, \dots, n$) corresponde aos insumos ou produtos de diferentes tecnologias do vetor tecnológico. D_i , d_i e κ são parâmetros, com

$d_i < 1$ e $\neq 0$, $D_i > 0$. Os parâmetros D_i e κ são normalizados, de forma que $\sum_{i=1}^n D_i = 1$.

Uma das propriedades da função CRESH é que os insumos mantêm uma razão constante entre si, enquanto as elasticidades de substituição variam com o padrão de uso dos insumos. A maior atratividade da função CRESH em relação às funções similares, como CES, é que as elasticidades de substituição entre os pares de insumos podem diferir. Sob a especificação CES, todos os pares de insumos devem ter a mesma elasticidade de substituição. Se $d_i = d$ para todo i , a função de produção CRESH se reduz a uma função CES.

Os setores de Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados escolhem tecnologias que minimizam os custos de produção, dados os preços dos insumos. A

solução de um problema de minimização de custos sujeito a uma função de produção CRESH resulta em uma equação de demanda linearizada (DIXON *et al*, 1982, pp. 83–6). Usando estes resultados, a demanda pela tecnologia i do setor j é dado por:

$$x(i, j) = \sigma_{i,j} [p(j) - p(i, j)] + y(j) \quad (1)$$

onde $x(i, j)$ é a taxa de crescimento do produto pela escolha da tecnologia i usado no setor j ; $y(j)$ é a taxa de crescimento do produto proveniente do vetor tecnológico no setor j ; $\sigma_{i,j}$ é o parâmetro de elasticidade da função CRESH para a tecnologia i no setor j ; $p(i, j)$ é a taxa de crescimento dos preços do produto produzido pela tecnologia i no setor j ; e, por fim, $p(j)$ é a taxa de crescimento no preço do vetor tecnológico do setor j .

A equação (1) pode ser decomposta em dois efeitos: o primeiro chamado de efeito substituição, corresponde ao termo $\sigma_{i,j} [p(j) - p(i, j)]$ e o efeito expansão, representado pela taxa de crescimento do produto do setor $y(j)$. Contudo, existem algumas diferenças em relação à CES (*constant elasticity of substitution*). A substituição na função CRESH ocorre entre diferentes tecnologias, ao passo que na CES a substituição é entre insumos. Outra diferença reside no fato que as elasticidades de substituição entre as tecnologias podem diferir, ao invés de serem constantes; e, por fim, o efeito expansão é representado por uma soma de participações ponderadas dos produtos derivadas de diferentes tecnologias, enquanto na função CES, o efeito expansão representa apenas a taxa de crescimento de único produto.

Assim, o efeito substituição depende das taxas de crescimento nos custos de tecnologias alternativas e das elasticidades de substituição. A taxa de crescimento no preço de uma determinada tecnologia, $p(i, j)$, é a participação ponderada das taxas de crescimento dos preços de todos os insumos usados pela tecnologia:

$$p(i, j) = \sum_k S(i, k, j) \cdot pk(i, k, j) \quad (2)$$

Onde $\sum_k S(i, k, j)$ é a participação do produto k no total dos custos dos insumos usados na tecnologia i no setor j , e $pk(i, k, j)$ é a taxa de crescimento no preço do produto k usado na tecnologia i no setor j .

A taxa de crescimento do preço do setor j , $p(j)$, por sua vez, é definido como sendo:

$$p(j) = \sum_k ST(k,j) \cdot p(k,j) \quad (3)$$

A participação $ST(k,j)$ refere à participação do valor ponderado do parâmetro CRESH, dada por:

$$ST(k,j) = \sigma_{k,j} \cdot \frac{St(k,j)}{\sum_l \sigma_{l,j}} \cdot St(l,j) \quad (4)$$

Onde $St(l,j)$ é a participação da tecnologia l no total dos custos dos insumos de todas as tecnologias usadas pelo setor j :

Essa participação reflete os movimentos de participação ponderada nos preços das diferentes tecnologias usadas pelo setor. Estes preços, por sua vez, representam os movimentos nos custos dos insumos.

Em relação à magnitude da elasticidade da função CRESH, quanto maior for o valor do parâmetro, maior será a resposta da taxa de crescimento no produto para uma dada tecnologia. Dessa forma, a elasticidade Allen de substituição entre as tecnologias i e k no setor j pode ser definida como:

$$\varepsilon_{Allen} = \frac{\sigma_{i,j} \cdot \sigma_{k,j}}{\sum_l St(k,j) \cdot \sigma_{l,j}} \quad (5)$$

Além disso, a maneira pela qual a abordagem de vetores tecnológicos assegura que o padrão de uso de insumos seja consistente é ilustrada nas figuras 7 e 8. Suponha que o produto de determinado setor possa ser produzido utilizando três tecnologias a partir de dois insumos, capital e trabalho. Cada tecnologia utiliza diferentes composições de insumos em proporções fixas para dado produto. Na figura 7, a combinação de insumos usada pela tecnologia mais capital-intensiva é apresentada pelo ponto T1, ao passo que a tecnologia mais trabalho-intensiva é mostrada pelo ponto T3. Uma combinação intermediária também é possível, ilustrada pelo ponto T2.

Nessa figura, pode-se observar duas possibilidades extremas. A produção do setor pode ser feita inteiramente pela tecnologia T1, ou, por outro lado, ser obtida pela tecnologia

T3. É possível também combinações intermediárias que tangenciam a reta que liga os pontos T1 e T3. Tais pontos estabelecem duas regiões críticas que podem ser visualizadas pela área sombreada no diagrama. Pode-se notar, que é possível utilizar mais do que 100% de uma determinada tecnologia para produzir um determinado nível de produto. Assim, os pontos da área a esquerda de T1 implicam combinações de insumos inconsistentes tendo em vista as tecnologias conhecidas (que somente poderiam ser geradas a partir de tecnologias conhecidas com o uso de 100% da tecnologia T1, e um uso negativo da tecnologia T3). O mesmo raciocínio se verifica na área sombreada abaixo de T3.

FIGURA 7 - Isoquanta do vetor tecnológico

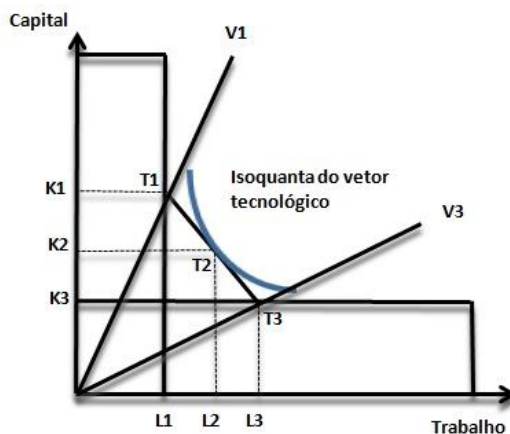
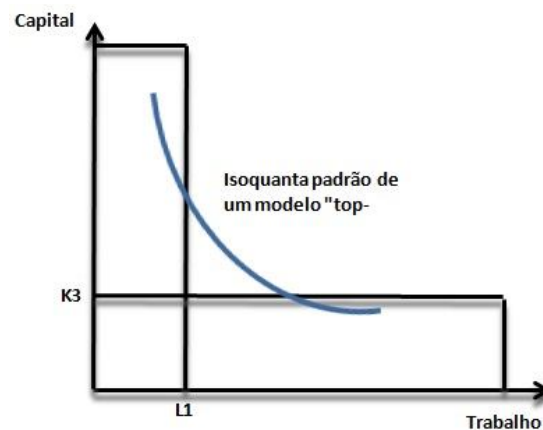


FIGURA 8 - Isoquanta padrão de modelos "top down"



Fonte: Elaboração própria

Na figura 8, visualiza-se a forma típica de uma isoquanta num modelo padrão “top-down”. A isoquanta típica assume substituição contínua entre os insumos. Dado que é assintótica a ambos os eixos, ela cruza regiões de combinações de insumos tecnologicamente não-factíveis. Então pode-se afirmar que tais modelos implicam a possibilidade da escolha de combinações de insumos inconsistentes com tecnologias conhecidas. Na parte superior da figura 7 encontra-se a isoquanta referente ao vetor tecnológico. O segmento de reta que liga os pontos T1 e T3 representam a isoquanta que poderia ser derivada se as tecnologias alternativas fossem substitutos perfeitos. Por outro lado, se as diferentes tecnologias forem substitutos imperfeitos, a isoquanta do vetor tecnológico deveria ser convexa em relação à origem e tangenciar a isoquanta de substitubilidade perfeita, como mostrado na figura 7.

Como resultado dessa especificação, o espaço factível de escolha de insumos pelo setor é definido pela combinação convexa das tecnologias, tal qual ilustrado pela região entre os vetores V1 e V3. Isoquantas que se encontram fora desta área são inviáveis. Isso aumenta o realismo do modelo no tratamento dos setores intensivos em energia.

Ademais, assume-se que tecnologias alternativas são substitutos imperfeitos. A justificativa para esta pressuposição é análoga à justificativa da utilização da hipótese de Armington de substituição imperfeita entre a produção doméstica e importações de uma dada mercadoria. Considera-se que diferentes tecnologias utilizadas para produzir um mesmo bem resultem em produtos com diferentes características. Para o caso do setor de eletricidade, por exemplo, a disponibilidade de água nos reservatórios, o tamanho e localização das reservas de carvão e gás natural ou os impactos ambientais de tecnologias alternativas restringem as opções de substituição entre as diferentes tecnologias.

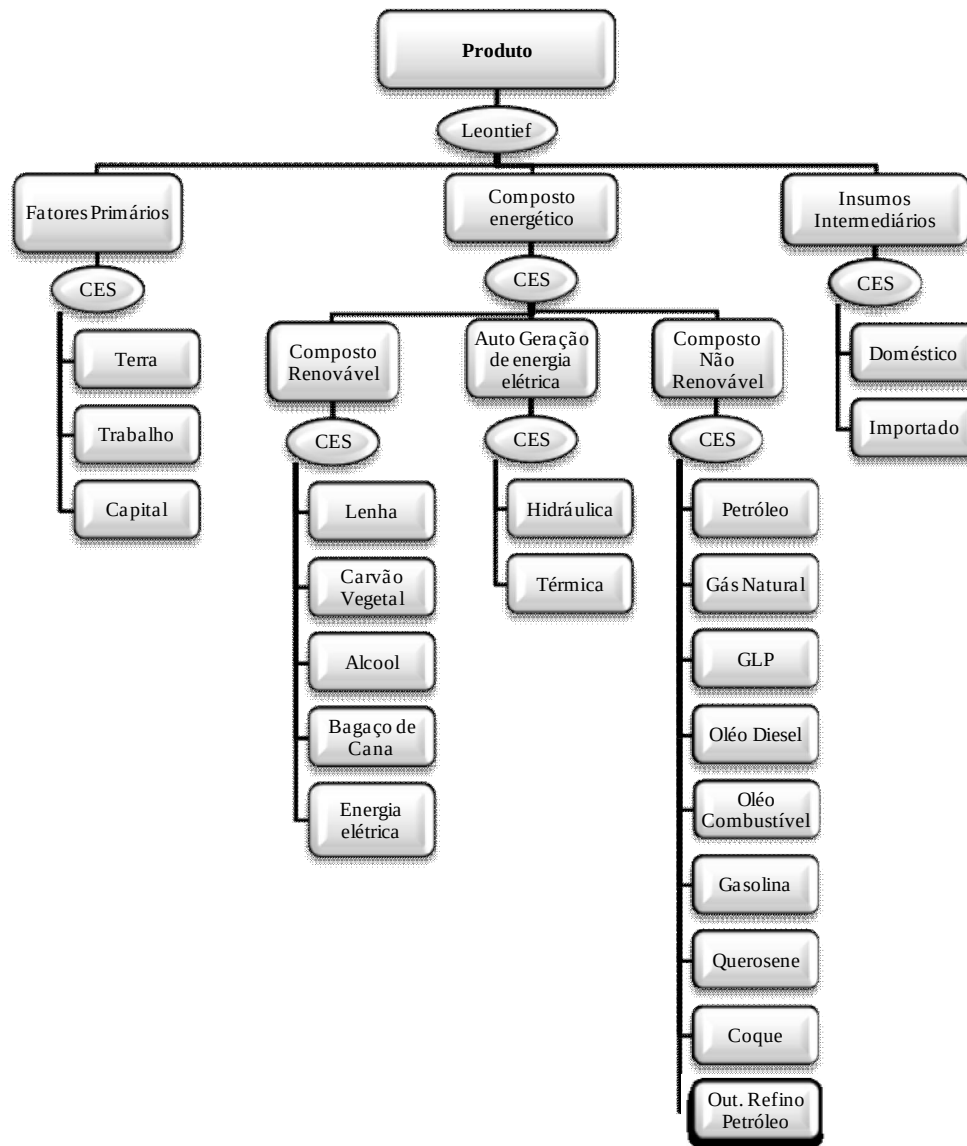
Se a hipótese de Armington fosse abandonada em favor da pressuposição de substitubilidade perfeita, alterações infinitamente pequenas nos preços relativos poderiam resultar em uma mudança brusca na alocação da produção setorial de uma tecnologia para outra. Assim, a suposição de substitubilidade imperfeita é imperativa se mudanças plausíveis no padrão de uso de tecnologias alternativas podem ser derivadas, suposição que está mais próxima da realidade.

Como discutido acima, a abordagem de vetores tecnológicos tem o potencial de tratar de forma mais realista o padrão de uso dos insumos e a resposta deste a variação nos preços. Uma vez que o padrão de uso é consistente com tecnologias conhecidas, a resposta da produção vai diferir da obtida pelos modelos padrões “*top-down*”, e esta resposta é também potencialmente mais realista. Uma vantagem adicional é que com esta abordagem é mais fácil avaliar os resultados e sua plausibilidade no uso de tecnologias.

4.1.2.1.2. Setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos.

A figura 9 retrata a estrutura hierárquica de produção dos setores que não apresentam a especificação de vetores tecnológicos. O diferencial, nesse caso, refere-se à existência de um composto energético, especificado para modelar a escolha de insumos energéticos.

FIGURA 9 - Estrutura hierárquica dos setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos ⁴⁴



Fonte: Elaboração própria

O processo produtivo das firmas, dessa forma, é determinado por 3 níveis de otimização (descritos de baixo para cima):

- i) no primeiro nível, as firmas escolhem a composição de insumos energéticos de três compostos, assim denominados: composto renovável, auto geração de

⁴⁴ A Auto geração refere-se a auto geração de energia produzida próxima ao centro de consumo e que não utiliza a rede pública de transmissão e distribuição.

energia elétrica e composto não renovável. O composto renovável é definido pela escolha de uma composição de insumos energéticos renováveis, assim como o composto não renovável baseia-se na composição de insumos não renováveis, a partir de uma função CES. Outro diferencial desta especificação é a possibilidade de substituição entre auto geração de energia hidroelétrica e energia térmica, também especificada por uma CES

- ii) no nível seguinte, estes três compostos são combinados, a partir de uma função CES, a fim de formar um composto energético. Da mesma forma, na composição do fator primário, há substituição via preço entre capital, trabalho e terra. por funções CES. O mesmo se aplica a escolha de insumos intermediários não energéticos.
- iii) e, por fim, os setores minimizam custos de produção em que a combinação de insumos intermediários, fator primário (agregado) e composto energético é determinada por coeficientes fixos (Leontief).

Formalmente, para estes setores, a forma geral da função de produção é baseada em uma CES (*constant elasticity of substitution*)⁴⁵ é dada por:

$$Y = A \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i X_i^{-\varepsilon} \right)^{-\frac{1}{\varepsilon}}$$

onde Y é o produto, o vetor X_i ($i = 1, \dots, n$) são insumos. Assume-se $A > 0$, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ e $-1 < \varepsilon < \infty$, $\varepsilon \neq 0$, para retornos constantes de escala. A elasticidade de substituição, σ é dada por $\sigma = \frac{1}{1 + \varepsilon}$.

Escolhendo insumos que minimizam os custos de produção em uma função de produção CES, e usando o fato de que em competição perfeita os fatores são pagos pelo valor de seu produto marginal, tem-se em mudança percentual:

$$p(j) = \sum_{i=1}^n \theta(i,j) \cdot p(i,j) \quad (1)$$

⁴⁵ Em uma função CES, para elasticidade de substituição igual a 1, as demandas se comportam como uma função Cobb-Douglas hierarquizada (i.e., participação nos gastos são constantes mesmo com mudanças de preços relativos). Se o parâmetro é igual a zero, a demanda segue a forma de Leontief (i.e., proporções das quantidades constantes independentemente do preço) (DIXON *et al.*, 1982).

onde $p(i)$ é a taxa de crescimento do preço do setor i , $\theta(i, j)$ é a participação do insumo i

no total dos custos do setor j $\sum_{i=1}^n \theta(i, j) = 1$, e $p(j)$ é a taxa de crescimento do preço do insumo i usado no setor j . (ver HERTEL e TSIGAS, 1993). Assim, a taxa de crescimento dos preços de um setor é uma soma ponderada das participações nos custos das taxas de crescimento nos preços dos insumos. A taxa de crescimento da demanda por insumo linearizada é dado por:

$$x(i, j) = \sigma [p(j) - p(i, j)] + y(j) \quad (2)$$

onde $x(i, j)$ é a taxa de crescimento da demanda pelo insumo i usado no setor j , e $y(j)$ é a taxa de crescimento do produto no setor.

Assim, sob uma função CES, as equações de demanda por insumos podem ser decompostas em dois efeitos, a saber: efeito substituição - medido pelo desvio da taxa de crescimento do preço do insumo em relação ao preço ponderado pela participação nos custos de todos os insumos multiplicado pela elasticidade de substituição - e efeito-renda, que mede a taxa de crescimento da produção setorial.

A utilização de funções CES na tecnologia de produção decorre da adoção da hipótese de Armington (ARMINGTON, 1969) para a diferenciação de produtos, implicando em condições de substituição imperfeita para bens de diferentes origens, característica que proporciona ao modelo “padrões de comércio intra-setoriais não especializados, uma importante regularidade empírica encontrada na literatura” (DOMINGUES, 2002, p.51).

4.2.2.2 Demanda das famílias

No modelo BeGreen existem 10 famílias representativas, que consomem bens domésticos e importados. A especificação da demanda das famílias é baseada num sistema combinado de preferências CES/Klein-Rubin. As equações de demanda são derivadas a partir de um problema de maximização de utilidade, cuja solução segue passos hierarquizados (Figura 10). No primeiro nível ocorre substituição CES entre bens domésticos e importados. Dada a alta desagregação de produtos do modelo, ainda neste nível, foi introduzida a possibilidade de substituição entre gasolina e álcool, através de uma função CES. Esse composto foi escolhido devido à possibilidade concreta desta substituição, potencializada pela crescente utilização veículos de tecnologia *flex-fuel* no Brasil⁴⁶, cuja composição depende dos preços relativos de ambos os produtos.

No nível superior subsequente há uma agregação Klein-Rubin dos bens compostos; assim a utilidade derivada do consumo é maximizada segundo essa função de utilidade. Essa especificação dá origem ao sistema linear de gastos (LES), no qual a participação do gasto acima do nível de subsistência, para cada bem, representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família.

A denominação Sistema Linear de Gastos deriva da propriedade de que o gasto em cada bem é uma função linear dos preços médios (composto importado e doméstico) e do gasto (renda). Existe um requisito de “subsistência” em cada bem, cujas quantidades são adquiridas qualquer que seja o preço do bem. O resíduo do orçamento do consumidor, depois dos gastos totais de subsistência, é chamado de “gasto de luxo” ou gasto em “supernumerário”. A alocação do gasto de luxo nos diversos bens segue uma participação orçamentária marginal – calibrada de acordo com parâmetros de elasticidade do gasto e de participação orçamentária.

Formalmente, a função utilidade per capita Stone-Geary ou Klein-Rubin, que possui a forma de uma Cobb-Douglas, pode ser definida pela equação seguinte⁴⁷:

⁴⁶ Outros compostos energéticos poderiam ser igualmente definidos, tais como a substituição entre energia elétrica e gás natural. Contudo, esta possibilidade é ainda muito restrita no Brasil.

⁴⁷ A formalização é baseada em Haddad (2004).

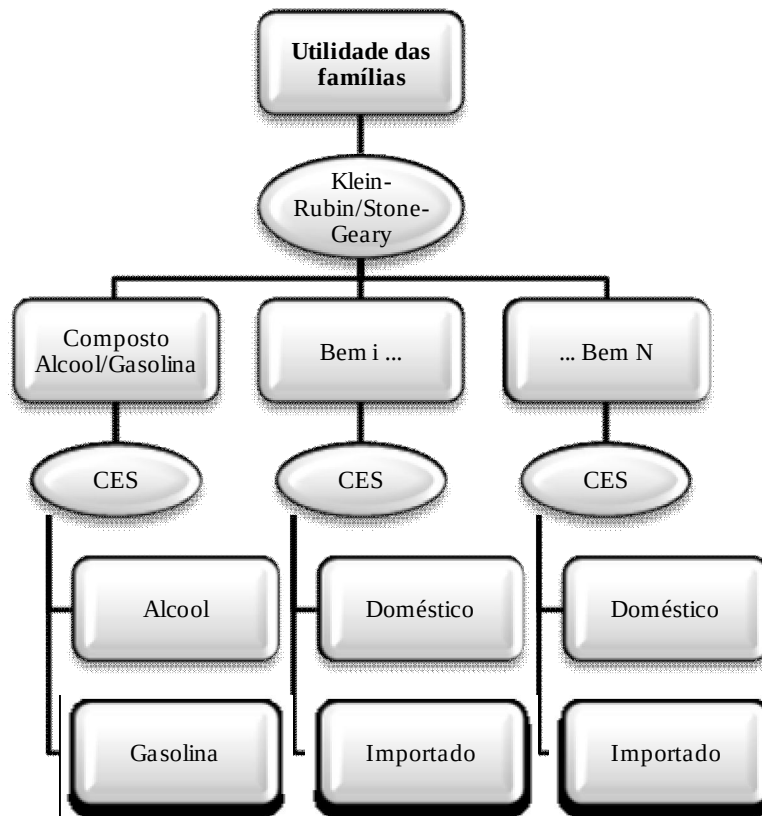
$$U(h) = \sum_i \frac{1}{Q} (X(h) - \gamma(h))^{\beta_h} \quad (1)$$

Onde $X(h)$ é o consumo agregado do bem i pela família representativa h e Q é o número de famílias. γ , a quantidade de subsistência de cada família h , e β , participação orçamentária marginal sobre gastos totais em bens de luxo, são vetores de parâmetros. Como observado por Peter *et al.* (1996), uma característica da função utilidade Stone-Geary é que apenas o componente de gastos acima do nível de subsistência, ou gastos em bens de luxo, afeta a utilidade per capita.

O sistema de demanda regional resultante implica que a quantia gasta em cada bem acima do nível de subsistência, $(X(h) - \gamma(h))$. $P(i)$ é dada por uma participação constante no total gasto em bens de luxo:

$$X(h) - \gamma(h) \cdot P(k) = \beta_i(i) \sum_k [(X(k) - \gamma(k)) \cdot P(k)] \quad (2)$$

FIGURA 10 - Estrutura hierárquica da demanda das famílias



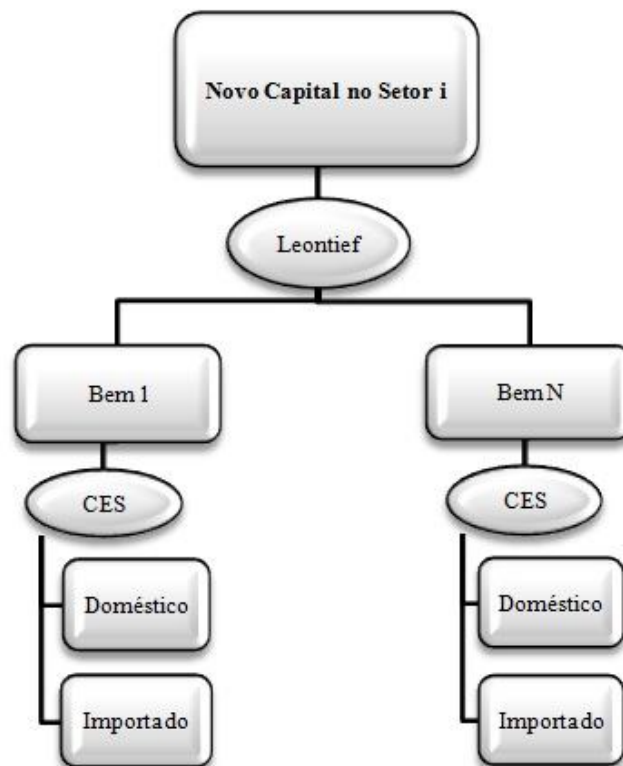
Fonte: Elaboração própria

4.2.2.3 Demanda por investimento e estoque de capital

Os “investidores” são uma categoria de uso da demanda final, responsáveis pela produção de novas unidades de capital (formação bruta de capital fixo). Estes escolhem os insumos utilizados no processo de criação de capital através de um processo de minimização de custos sujeito a uma estrutura de tecnologia hierarquizada, como mostra a Figura 11.

Como na tecnologia de produção, o bem de capital é produzido por insumos domésticos e importados. No primeiro nível, uma função CES é utilizada na combinação de bens de origens domésticos e importados. No segundo nível, um agregado do conjunto dos insumos intermediários compostos é formado pela combinação em proporções fixas (Leontief), o que define o nível de produção do capital do setor. Nenhum fator primário é utilizado diretamente como insumo na formação de capital.

FIGURA 11 - Estrutura hierárquica da demanda por investimento



Fonte: Elaboração própria

Na especificação de dinâmica recursiva, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento inter-setorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas à taxa de depreciação e retorno. Conforme Dixon e Rimmer (1998), em cada ano de simulação, assumem-se que as taxas de crescimento do capital numa indústria específica (e dessa forma, os níveis de investimento) sejam determinadas pela disposição dos indivíduos em investir frente aos aumentos na taxa de retorno esperada. Os desvios da taxa de retorno são eliminados gradualmente. Em outras palavras, admite-se que o crescimento do capital numa indústria específica no ano t é limitado pelas percepções de risco do investidor, ao invés dos custos de instalação crescentes (via seus efeitos nos custos unitários da construção e outras indústrias fornecedoras de capital). Basicamente a taxa de crescimento do capital no ano t só será maior que sua taxa normal (estado estacionário do crescimento de capital) à medida que a taxa de retorno esperada pelos investidores for superior a taxa de retorno normal.

No modelo BeGreen, a acumulação de capital físico pode ser formalizada matematicamente da seguinte maneira (DIXON e RIMMER, 2002):

$$K_j(t+1) = [K_j(t)(1 - D_j)] + Y_j(t) \quad (1)$$

na qual: $K_j(t)$ é a quantidade de capital disponível no setor j durante o ano t ; $Y_j(t)$ é investimento do setor j durante o ano t ; e D_j é a taxa de depreciação, tratada como um parâmetro conhecido.

Com estoque inicial de $[K_j(0)]$ e com mecanismo para determinar o investimento $[Y_j(t)]$, a equação (1) pode ser usada para esboçar o caminho do estoque de capital em j .

Retirando os subscritos de tempo para simplificar a notação, tem-se:

$$E_t[R_j(t)] = ER_j + DR_j \quad (2)$$

em que: $E_t[R_j(t)]$ é a taxa de retorno esperada no ano t para os proprietários de capital de j ; ER_j é a taxa de retorno de equilíbrio esperada, isto é, a taxa esperada de retorno

exigida para sustentar indefinidamente a taxa corrente de crescimento do capital em j , e; DR_j é a medida de desequilíbrio na taxa de retorno corrente de j .

Na maioria das aplicações de modelos dinâmicos de EGC, o mecanismo para determinar o investimento em j pode ser representado por:

$$E_t[R_j(t)] = -1 + \frac{E_t[Q_j(t+1)]}{C_j(t)} \left(\frac{1}{1+r} \right) + (1-D_j) \left(\frac{E_t[C_j(t+1)]}{C_j(t)} \right) \left(\frac{1}{1+r} \right) \quad (3)$$

e

$$E_t[R_j(t)] = f_{jt} \left(\frac{K_j(t+1)}{K_j(t)} - 1 \right) \quad (4)$$

na qual: E_t denota a expectativa no ano t ; $R_j(t)$ é a taxa de retorno do investimento no setor j realizado no ano t ; $Q_j(t+1)$ representam o retorno sobre o capital j no ano $t+1$; r é a taxa de juros; $C_j(t)$ é o custo de uma unidade extra de capital instalado no setor j no ano t ; f_{jt} é uma função não-decrescente.

A equação (3) define a taxa de retorno esperada do setor j no ano t como o valor presente de um real extra de investimento, isto é, um real de investimento compra $1/C_j(t)$ unidades de capital no ano t . Além disso, diante dessa equação, espera-se gerar uma renda no ano $t+1$ de $E_t[Q_j(t+1)]/C_j(t)$ e reduzir a necessidade de gastos em investimento em $[(1-D_j)E_t[C_j(t+1)]/C_j(t)]$. A equação (4), por sua vez, define uma curva de oferta-investimento e mostra que a taxa de retorno exigida pelos investidores quando eles gastam um real extra no setor j depende da taxa de crescimento do estoque de capital j . Essa equação tem por hipótese a redução da disponibilidade de fundos de investimento de tal modo que, diante da inclinação positiva da função f_{jt} , o setor j atrai consideráveis fundos de investimento dado uma alta taxa de crescimento do capital, e, com isso, provoca a alta na taxa esperada de retorno para atrair o investidor marginal. Cabe notar que é usual assumir que a oferta de fundos de investimento é infinitamente elástica em relação à taxa de juros.

4.2.2.4 Mercado de trabalho

O mercado de trabalho apresenta um elemento de ajuste intertemporal. Ele envolve basicamente três variáveis: salário real, emprego atual e emprego tendencial. No seu mecanismo de ajuste, quando o nível de emprego em $t + 1$ exceder $x\%$ em relação ao emprego tendencial da economia, o salário real aumenta em $\gamma x\%$. Dessa maneira, visto que existe uma relação negativa entre emprego e salário real no mercado de trabalho, o aumento de $\gamma x\%$ ajustará o nível de emprego em períodos posteriores até convergir para o nível tendencial. Portanto, enquanto o emprego estiver acima do nível tendencial, o desvio do salário real aumentará, porém com o arrefecimento da sua taxa de crescimento. O ajustamento do mercado de trabalho pode ser definido matematicamente como:

$$\frac{\Delta w}{w_0} = \gamma \left(\frac{L_0}{T_0} - 1 \right) + \gamma \Delta \left(\frac{L}{T} \right) \quad (1)$$

em que: L corresponde ao nível de emprego atual; T representa ao nível de emprego tendencial; e w refere-se ao salário real e Δw , à variação.

4.2.2.5 Demanda por exportações e outras demandas finais

Todos os bens são definidos com curvas de demanda negativamente inclinadas nos próprios preços no mercado mundial. Um vetor de elasticidades define a resposta da demanda externa a alterações no preço F.O.B. das exportações. A especificação permite também deslocamentos no preço e na demanda por exportações.

O componente de outras demandas representa principalmente a demanda do governo por bens. O nível e a composição no consumo do governo é determinado exogenamente, logo o governo não é modelado como agente otimizador. Entretanto, a atividade do governo na produção de bens públicos (o setor Administração Pública) é decidida pela mesma lógica de minimização de custos do setor privado.

Outro componente de outras demandas é a variação de estoques. A demanda deste componente é conectada ao nível de produção do bem. Assim, o volume de estoques,

doméstico ou importado, de cada bem, varia de acordo com a produção doméstica desse bem. Outra alternativa de modelagem é tornar a variação de estoques fixa, por meio de uma escolha apropriada do fechamento do modelo.

4.2.2.6 Equilíbrio de mercados, demanda por margens e preços de compra

O modelo opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos localmente, tanto domésticos como importados. Existem também equações de equilíbrio no mercado de fatores (capital e trabalho).

As demandas por margens (transporte e de comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão associadas. Termos de deslocamento permitem introduzir mudanças técnicas (exógenas) no uso de margens.

Os preços de compra para cada um dos grupos de uso (produtores, investidores, famílias, exportadores, e governo) são a soma dos valores básicos, impostos (diretos e indiretos) sobre vendas e margens. Impostos sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos.

4.2.2.7 Outras equações

O modelo especifica uma série de equações para o cálculo de agregados macroeconômicos e indicadores do banco de dados. Estes são importantes no entendimento e na explicação dos resultados das simulações. Entre estes estão:

- i) PIB do lado do dispêndio e do lado da renda
- ii) Saldo Comercial
- iii) Índices de preço do consumo das famílias, do investimento, das importações, das exportações e do PIB (deflator implícito)
- iv) Agregações de fatores primários (capital e trabalho)
- v) Decomposições das vendas (uso intermediário e final)
- vi) Decomposições do PIB

4.2.2.8 Módulo de Contabilidade de Emissões

Além das especificações do núcleo do modelo, anteriormente relatadas, o modelo BeGreen tem acoplado um módulo ambiental inspirado no modelo MMRF-Green (ADAMS *et al*, 2002).

O modelo trata as emissões de forma detalhada, separando-as por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias), e atividade emissora. As emissões no modelo estão associadas ao uso de combustíveis (15 combustíveis no total) ou ao nível de atividade do setor, tais como emissões da agropecuária (cuja causa repousa na fermentação entérica de ruminantes, cultivo de arroz e uso de fertilizantes notadamente, que é fonte importante das emissões brasileiras).

Conforme já mencionado, o modelo permite calcular endogenamente o preço do carbono ou custo de redução de emissões pela imposição de metas de emissões de GEE. Esse módulo é responsável pela transformação destes preços ou impostos físicos da taxaço de carbono em alíquotas *ad-valorem*, que alimentam o núcleo do modelo. A partir dos resultados de determinadas variáveis (uso de combustível pelos setores, nível de atividade e consumo das famílias), o módulo ambiental calcula as variaçoes nas emissões.

De acordo com Adams *et al.* (2002), a receita do governo a partir da imposição de um imposto de carbono, R , pode ser calculado como:

$$R = \tau \cdot \sum_f \sum_u E_{f,u} \quad (1)$$

onde τ é um imposto específico sobre uma tonelada de CO₂-e e $E_{f,u}$ é a quantidade (em toneladas) de emissões de CO₂-e por fonte de emissão f (combustíveis fosseis ou atividade produtiva) e por usuário u (setores e famílias). Desde que o imposto sobre emissão de CO₂-e será determinado através de uma alíquota *ad-valorem* sobre o uso de combustível ou atividade produtiva, R é equivalente a:

$$R = \sum_f \sum_u \frac{t_{f,u}}{100} P_f Q_{f,u} \quad (2)$$

onde t_f é a alíquota *ad valorem* do imposto (%); P_f é o preço básico por unidade de combustível ou produto e $Q_{f,u}$ é a quantidade de combustível ou produto consumido pelo usuário u . Para cada tipo de fonte de emissão e usuário, um imposto específico sobre emissões pode ser traduzido em uma taxa *ad valorem* da seguinte forma:

$$t_{f,u} = \tau \frac{100 \cdot E_{f,u}}{P_f \cdot Q_{f,u}} \quad (3)$$

A última parte da equação, $\frac{E_{f,u}}{P_f \cdot Q_{f,u}}$ pode ser definida como a intensidade de emissão

por uso de combustíveis ou nível de atividade produtiva por Reais. Para determinar o preço do carbono, custo marginal de emissões (ou imposto de carbono), o impacto sobre a alíquota *ad valorem* para cada tipo de fonte de emissão não depende apenas de características técnicas, como por exemplo, o conteúdo de carbono de cada fonte, mas também de variáveis econômicas ou condições de mercado, tais como preço.

A emissão no uso de combustíveis é modelada como diretamente proporcional a seu uso, assim como as emissões de atividade em relação ao produto das indústrias relacionadas. Não há no modelo inovações tecnológicas endógenas para o caso do uso de combustíveis fósseis, que, por exemplo, permitam que a queima de carvão libere menos CO₂ por tonelada utilizada⁴⁸.

Contudo, há a possibilidade de medidas de abatimento endógeno sobre as emissões relacionadas ao nível de atividade produtiva em resposta a políticas de mitigação de GEE. O abatimento (redução de emissões por unidade de produto) gera uma economia de gastos equivalente à quantidade de emissões poupada vezes o imposto sobre o carbono. O abatimento, entretanto, é custoso, dado que envolve investimento adicional em nova tecnologia e/ou mudanças incrementais em tecnologias existentes.

⁴⁸ Os setores, por outro lado, podem reduzir suas emissões pela substituição de insumos energéticos, via mudança de preços relativos.

Esta especificação permite que os setores, face à tributação de carbono, poupem insumos poluidores para investir em progresso tecnológico. É o que é denominado no modelo como resposta a emissões por tonelada de carbono. Porém, como mencionado, há mecanismos de compensação, que fazem com que a nova tecnologia seja custo-neutra. Se não fosse o caso, o abatimento reduziria o custo de produção sem nenhum custo adicional, o que implicaria que esta tecnologia está disponível a custo zero e permanece não-utilizada pelo setor. Nas simulações são estudados cenários de abatimento.

Outro mecanismo importante do modelo é a possibilidade de devolução do montante da receita com os impostos através de uma compensação de renda ou um subsídio (imposto negativo) sobre as compras das famílias. Esta devolução, no entanto, é especificada de forma a permitir que apenas determinada parcela das receitas sejam compensadas. Assim, abre-se a possibilidade tanto de devolução total das receitas (100% de devolução), quanto a devolução em um nível intermediário.

Maiores detalhes da estrutura do núcleo teórico do modelo podem ser encontrados em Horridge (2006) e uma estrutura simplificada estilizada, no Anexo 1 desta tese.

4.3 Base de dados e parâmetros-chaves.

A calibragem do modelo BeGreen— determinação de valores para coeficientes e parâmetros que originam uma solução inicial do modelo – teve como referência os dados da matriz de Insumo-Produto (IP) nacional de 2005 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)⁴⁹.

A base de dados central do modelo refere-se ao ano base de 2005, e está representado na Figura 3.8⁵⁰. As fontes de informações primárias para o banco de dados do modelo são:

- matriz de insumo-produto nacional de 2005, do IBGE;
- comércio externo estadual por setor e porto de comercialização, disponíveis no Sistema Alice da SECEX;

⁴⁹ Foram utilizadas as seguintes tabelas (referentes ao ano de 2005) de composição da matriz IP do IBGE: (i) Tabela 1 - Recursos de Bens e Serviços; (ii) Tabela 2 - Usos de Bens e Serviços a Preços de Consumidor; (iii) Tabela 3 - Oferta e Demanda da Produção Nacional a Preço Básico; e (iv) Tabela 4 - Oferta e Demanda de Produtos Importados.

⁵⁰ Nesta seção, as variáveis serão apresentadas conforme a notação do modelo BeGreen.

- consumo das famílias por produto e unidade da federação, da POF (Pesquisa de Orçamento Familiar), do IBGE;

A Figura 12 ilustra a estrutura central do modelo, a qual, em face dos referenciais específicos de calibragem, guarda estreita similaridade com a matriz IP. Nessa figura, as matrizes são dimensionadas por índices (c, s, i, m e o) que correspondem aos conjuntos definidos no modelo.

Os fluxos básicos mostram a demanda a preços básicos (valor de produção) dos bens (“c” em COM), de origem doméstica ou importada (“s” em SRC), pelas indústrias (“i” em IND) e dos usuários finais (da demanda final). Esses fluxos estão representados, por exemplo, pelos coeficientes V1BAS (consumo intermediário – firmas), V2BAS (investimento ou formação bruta de capital fixo). Vale destacar que os preços básicos (*pb*) mais margens e impostos líquidos de subsídios correspondem aos fluxos a preços de mercado (*pm*).

FIGURA 12 - Estrutura da Base de Dados do Modelo BeGreen

		MATRIZ DE ABSORÇÃO					
		1	2	3	4	5	6
		Produtores	Investidores	Famílias	Exportações	Governo	Estoques
	Dimensões	i	i	1	1	1	1
Fluxos Básicos	c x s	V1BAS	V2BAS	V3BAS	V4BAS	V5BAS	V6BAS
Margens	c x s x m	V1MAR	V2MAR	V3MAR	V4MAR	V5MAR	n/a
Impostos	c x s	V1TAX	V2TAX	V3TAX	V4TAX	V5TAX	n/a
Trabalho	o	V1LAB					
Capital	1	V1CAP					
Terra	1	V1LND					
Impostos sobre a Produção	1	V1PTX					
Outros Custos	1	V1OCT					
	Matriz de Produção	Tarifas de Importação					
Dimensão	i	1					
c	MAKE	V0TAR					

Índice	Conjunto	Descrição
i	IND	Indústrias
c	COM	Commodities
s	SRC	Origem doméstica ou importada
m	MAR	Margens (transporte e comércio)
o	OCC	Tipos de Ocupação

Fonte: Adaptado de Horridge (2006, p. 9).

As tabelas 3 e 4 do IBGE trazem apenas os vetores da formação bruta de capital fixo (investimento), ao passo que o coeficiente V2BAS (investimentos) necessita de uma distribuição dos valores por indústria (“i” em IND). Portanto, em consonância com o modelo, os valores básicos de investimentos foram distribuídos a partir da estrutura

de V1CAP (remunerações do capital – Excedente Operacional Bruto), resultando assim em três dimensões: COM x SRC x IND.

O consumo das famílias foi obtido por uma desagregação em decis de renda. A distribuição das famílias por faixa de renda foi obtida usando os dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) referente à 2002/2003 do IBGE. Deles obtém-se a classificação das famílias por faixa de renda mensal, $i = 1, 2, \dots, 10$, mensurada por unidade de consumo. Em seguida, foram criadas as frações de renda consumida para cada item da matriz, para as dez famílias representativas por decil de renda. A tabela 3 retrata as principais características dos decis de renda pela POF 2002-2003.

TABELA 3 – Características dos decis de renda no Brasil pela POF 2002-2003.

Decil	Número de Observações	População correspondente	Renda Média (R\$)	Desvio Padrão (R\$)	Mínimo (R\$)	Máximo (R\$)
1	6.730	4.877.783	210,71	68,96	4,00	305,00
2	6.158	4.836.322	379,11	43,59	306,00	453,00
3	5.606	4.869.806	523,81	40,63	454,00	596,00
4	5.190	4.846.089	674,80	47,17	597,00	758,00
5	4.921	4.843.652	859,31	60,67	759,00	970,00
6	4.390	4.861.636	1.103,00	80,07	971,00	1.246,00
7	4.225	4.847.143	1.431,09	115,03	1.247,00	1.652,00
8	3.972	4.845.858	1.954,89	195,15	1.653,00	2.341,00
9	3.687	4.853.007	3.000,83	441,40	2.342,00	3.878,00
10	3.689	4.853.342	8.000,76	6.617,35	3.881,00	385.250,00

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da POF 2002/2003 (IBGE, 2012)

Os coeficientes representativos das margens (e.g. V1MAR), por seu turno, se traduzem na própria demanda por serviços de comércio e de transporte pelos setores e usuários finais (exceto estoque). Conceitualmente os bens que produzem margens têm por finalidade facilitar o fluxo de bens da sua origem de produção, domésticos ou importados, até o destino dos usuários. No entanto, nos dados do IBGE as margens também não estavam divididas por origens (doméstico e importado) e nem distribuídas por usuários (indústrias e usuários finais), conforme requerem, por exemplo, os coeficientes V1MAR e V2MAR. Como solução, primeiramente calculou-se a tarifa das margens de cada bem (margem / total valor básico) e, posteriormente, multiplicou-se com os valores básicos de origem doméstica e importada. O procedimento adotado não se aplicou para o Governo e Variação de

Estoque, uma vez que ambos os usuários, na prática, não são demandante de margens.

Os coeficientes de impostos, por sua vez, tratam a soma dos valores de IPI, ICMS e “Outros impostos menos subsídios” para todos os usuários (menos estoque). Embora o modelo permita o tratamento de incidência dos impostos sobre o fluxo das exportações, no caso brasileiro, tais exportações estão desoneradas por lei. Assim, a calibragem dos coeficientes representativos aos impostos sobre os fluxos básicos (e.g. V1TAX) teve um procedimento semelhante aos coeficientes das margens. Os vetores de IPI, ICMS e Outros Impostos (-Subsídios) da tabela 1 do IBGE também foram distribuídos por indústria, particularmente, para V1TAX e V2TAX e, nos demais coeficientes, apenas por origem (doméstico e importado), a partir das tarifas calculadas sobre o total do valor básico. A exceção a esse procedimento se concentrou no Governo, nas Exportações e nas Variações de Estoque, os quais não sofrem incidência de impostos.

Para calibrar os coeficientes dos fatores de produção no modelo, foi necessário recalcular a estrutura do valor adicionado bruto com base nos valores dos últimos anos, uma vez que dois setores apresentaram valores negativos na sua composição. Tais valores precisaram ser corrigidos porque a sua estrutura foi utilizada para a distribuição dos valores básicos de investimento (V2BAS). Com base na tabela 2 do IBGE, V1LAB(i,o) corresponde os salários e contribuições efetivas, V1CAP(i) refere-se ao excedente operacional bruto (EOB), V1PTX(i) representa “Outros impostos sobre a produção” e V1OCT(i) denota outros custos calculados de forma residual. O coeficiente V1LND (remuneração do fator terra) foram obtidos a partir dos dados das “Despesas realizadas pelos estabelecimentos – Arrendamento de terras” do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006). No modelo, o fator terra foi alocado para os setores agricultura e pecuária em cada região. A divisão dessa informação entre pecuária e agricultura foi feita de acordo com os valores de arrendamento de terras por grupo de atividade. Por exemplo, para a agricultura foram somados os valores de arrendamento dos grupos: produção de lavoura temporária, horticultura e floricultura, produção de lavouras permanentes, sementes, mudas e outras formas de propagação vegetal e produção florestal. Já para a pecuária agrupou-se os valores de arrendamento da pecuária e criação de outros animais, pesca e aquicultura. Como a base de dados do modelo é 2005, foi aplicado um deflator para que os valores monetários do Censo se

equiparassem aos da matriz de insumo-produto, obtendo, assim a remuneração da terra para os setores da agricultura e pecuária.

A especificação de dinâmica recursiva requer dados de estoque de capital da economia brasileira de 2005. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) fornece os valores do estoque de capital líquido a preços constantes de 2000, estimados por Moranti e Reis (2004). Com esses valores estima-se o estoque de capital setorial [CAPSTOK(i)] já inflacionada para 2005 com base no deflator implícito do capital fixo. A distribuição entre indústria do estoque de capital seguiu o procedimento de Haddad e Domingues (2001), o valor do estoque de capital é distribuído a partir da composição do valor básico de investimentos (V2BAS(i)).

Com esses valores especificados, calcula-se a razão entre o valor a preço de mercado do investimento e o estoque capital, homogêneo por setor. Esta razão computada é de 6,42% e define a taxa bruta de investimento [GROSSGRO(i)]:

$$\text{GROSSGRO}(i) = \text{V2TOT}(i) / \text{CAPSTOK}(i); \quad (1)$$

ou

$$\text{V2TOT}(i) = \text{GROSSGRO}(i) * \text{CAPSTOK}(i) \quad (2)$$

Assumindo que esse valor representa uma tendência comportamental ao longo dos anos para todas as indústrias, foi possível usá-lo na calibragem do respectivo coeficiente tendencial [GROTREND(i)]. Assim, por hipótese, estabelece-se que a razão entre investimento e capital segue uma tendência secular, portanto, um estado estacionário de longo-prazo. O limite máximo [GROMAX(i)] desse coeficiente tendencial foi calibrado para ser três vezes [QRATIO(i)] maior que o valor tendencial.

Aliada a essa especificação, assumimos que o crescimento econômico no estado estacionário da economia brasileira é de 3%. Assim, o estoque de capital adicionado [CAPADD(i)] no primeiro período cresce nessa taxa. Com isso temos:

$$\text{CAPADD}(i) = \text{V2TOT}(i) - \text{DPRC}(i) * \text{CAPSTOK}(i) \quad (3)$$

Substituindo (1) em (2):

$$\text{CAPADD}(i) = [\text{GROSSGRO}(i) - \text{DPRC}(i)] * \text{CAPSTOK}(i)$$

ou

$$\text{CAPADD}(i) / \text{CAPSTOK}(i) = [\text{GROSSGRO}(i) - \text{DPRC}(i)] \quad (4)$$

Se o estoque do capital adicionado cresce por hipótese 3% $[\text{CAPADD}(i) / \text{CAPSTOK}(i)]$ e se a razão entre investimento e capital é de 6,42% $[\text{GROSSGRO}(i)]$, então a taxa de depreciação $[\text{DPRC}(i)]$ calibrada no modelo resulta em 3,42%. Resumidamente, o modelo foi calibrado com um estado estacionário de 3%, sustentado por uma taxa de depreciação do capital na ordem de 3,42%. Esse percentual está muito próximo a taxa de 3,5% usada em Oreiro *et al* (2004). Esses autores se basearam na estimativa de Romer (2001) de uma taxa de depreciação do estoque de capital para a economia americana entre 3 a 4%. Haddad e Domingues (2001), aplicando o modelo de equilíbrio geral EFES (*Economic Forecasting Equilibrium System*), usaram uma taxa implícita de 3,7%. Portanto, os trabalhos evidenciados ratificam a taxa de depreciação calculada endogenamente no nosso modelo.

Calibrou-se a taxa normal bruta de retorno do investimento (RNORMAL) com base na relação entre rentabilidade do capital (V1CAP) e estoque do capital medido a preço corrente (CAPSTOCK). Portanto, a taxa normal bruta de retorno do investimento computada foi de 14,3%. Por hipótese, admite-se que essa taxa seja a esperada no mecanismo de acumulação de capital, ou seja, a taxa esperada de retorno do investimento $[\text{GRETEXP}(i)]$ não difere ao seu estado normal quando avaliado no estado estacionário da economia.

Conforme já esboçado, além de dados provenientes das matrizes insumo-produto, os modelos de EGC usam em sua calibragem estimativas de elasticidades e parâmetros, denominados de parâmetros comportamentais. Tais valores são geralmente extraídos da literatura, o que é justificado pela escassez de dados para a estimação. São utilizados principalmente parâmetros relativos a elasticidades de substituição entre fatores primários, elasticidades de substituição do tipo Armington (entre as variedades domésticas e importadas dos bens) e elasticidade-gasto consumo das famílias.

Alguns desses parâmetros, como a elasticidade de substituição entre fatores primários (SIGMA1PRIM, SIGMA1LAB, SIGMA1OUT) e a elasticidade de substituição entre bens domésticos e importados (EXP ELAST), foram obtidas das estimativas econométricas contidas em Domingues *et al.* (2009).

A elasticidade de Armington, referente à substituição entre origens domésticas e importadas, é definida por produto e é idêntica tanto para bens intermediários (SIGMA1), quanto para bens de investimento (SIGMA2) e para a demanda das famílias (SIGMA3). Tais parâmetros foram calibradas com base no trabalho de Tourinho *et al* (2007), informações mais recentes na literatura. Quando necessário, as estimativas foram compatibilizadas aos setores do modelo.

Já a elasticidade-preço das exportações dos bens tradicionais (EXP_ELAST) segue a adotada no modelo SPARTA (DOMINGUES, 2002). Tais parâmetros foram compatibilizados com os produtos do modelo de maneira direta. Vale destacar que para a elasticidade-preço das exportações de bens não tradicionais, o valor calibrado foi de 1,28.

A estrutura de demanda das famílias incorpora também em sua formulação o Parâmetro de Frisch (FRISCH, 1959), que é um parâmetro de substituição que mede a sensibilidade da utilidade marginal da renda⁵¹. Ele é estimado com um valor negativo e é maior, em módulo, quanto mais pobre for a população em análise. Em outras palavras, quanto maior este parâmetro, em módulo, menor o grau de consumo de “luxo” e maior o grau de consumo de “subsistência”. Existem poucas estimativas na literatura para este parâmetro, tanto para modelos no Brasil como no exterior. Os modelos ORANI e MONASH utilizam valores em torno de -1.82. Recentemente, Almeida (2011) estimou esse parâmetro no valor de -1,94 e o utilizamos na calibragem do parâmetro FRISCH. Assumimos, desse modo, que o parâmetro de FRISCH é invariante entre o grupo de famílias.

Complementando a estrutura de demanda das famílias, utiliza-se um parâmetro que mede a elasticidade gasto dispêndio (EPS) das mesmas. Esses valores foram retirados de Hoffman (2007). Hoffman (2007) calcula a elasticidade-renda de diversos tipos de despesas (e.g. alimentação, habitação, vestuário, transporte, dentre outras), utilizando os

⁵¹ Para maiores detalhes ver Dixon *et al.* (1982) e (1996).

dados da POF 2002/2003 (IBGE, 2004), desagregadas para dez classes de renda familiar per capita. A partir dessas estimativas, as elasticidades-renda foram compatibilizadas aos setores do modelo, obtendo assim, uma matriz de elasticidade gasto por 10 tipos de famílias, distribuídas por decis de renda. O Quadro 5 lista os principais parâmetros e elasticidades do modelo.

No módulo de dinâmica recursiva, existem dois parâmetros importantes: elasticidade de investimento (ALPHA), elasticidade-salário de emprego (ELASTWAGE). Para a calibragem da elasticidade de investimento, utilizamos o mesmo valor de Haddad e Hewings (1997) e Perobelli (2004), que foi de 4,8. Desse modo, os valores desta elasticidade são indiferentes intersetorialmente.

O ajuste inter-temporal do mercado de trabalho foi calibrado de forma que no estado estacionário não há divergência entre o nível de emprego atual e o tendencial, sendo, portanto, a variação do salário real igual a taxa de crescimento econômico. Assim, a razão entre o nível de emprego atual e tendencial foi calibrada no período inicial como 1 (EMPRAT=1). A elasticidade salário-emprego foi calibrada com um valor de 0,66 (ELASTWAGE), cujo valor baseou-se na estimativa de Gonzaga e Corseuil (2001).

Por fim, em virtude da ausência de dados para estimativa econométrica e referências na literatura, os valores das elasticidades de substituição no módulo energético foram calibrados de maneira *ad hoc* para o Brasil, adotando estimativas padrões em modelos EGC com tal especificação. Assim, para as elasticidades de substituição de energias renováveis (ESUBREN), energias não-renováveis (ESUBNREN), auto geração de energia (ESUBAUTO) e compostos energéticos (ESUBENER) foi adotado o valor de 0,5. Não foram encontradas estimativas do valor do parâmetro (elasticidade) de substituição entre gasolina e álcool, razão pela qual seu valor foi parametrizado de forma *ad hoc* em 1, dado que a crescente frota de veículos com tecnologia “flexfuel”.

Já as elasticidades de substituição entre tecnologias nos setores modelados por vetores tecnológicos foram baseadas no trabalho de LI et al.(2000) e adaptados para a realidade da matriz energética brasileira.

QUADRO 5 - Parâmetros e elasticidades no modelo BeGreen

Parâmetro	Dimensão	Descrição	Valor especificado
EPS	COM e HOU	Elasticidade dos gastos das famílias	0,73 a 1,27
EXP_ELAST	COM	Elasticidades da demanda por exportações	0,04 a 4,00
FRISCH	HOU	Parâmetro de Frisch	-1,94
DPRC	IND	Taxa de depreciação	0,0342
QRATIO	IND	Razão investimento/capital (máxima/tendência)	4,0
RNORMAL	IND	Taxa de retorno bruta normal	14,3%
GRETEXP	IND	Taxa de retorno bruta esperada	14,3%
GROTREND	IND	Razão investimento/capital (tendência)	0,064
ALPHA	IND	Elasticidade do investimento	4,8
ELASTWAGE	IND	Elasticidade do salário em relação ao emprego	0,66
SIGMA1	COM	Elasticidade Armington de substituição: uso intermediário	0,15 a 5,28
SIGMA1LAB	IND	Elasticidade de substituição por ocupações	0,2
SIGMA1OUT	IND	Elasticidades de transformação CET	0,5
SIGMA1PRIM	IND	Elasticidade de substituição CES para fatores primários	0,01 a 1,58
SIGMA2	COM	Elasticidades Armington para investimentos	0,18 a 5,28
SIGMA3	COM	Elasticidade de Armington das famílias	0,15 a 5,28
ESUBREN	IND	Elasticidade de substituição para energias renováveis	0,5
ESUBNREN	IND	Elasticidade de substituição para energias não renováveis	0,5
ESUBAUTO	IND	Elasticidade de substituição para auto-geração de energia	0,5
ESUBENER	IND	Elasticidade de substituição para compostos energéticos	0,5
ESUB3COMB	COM	Elasticidade de substituição entre álcool e gasolina	0,5 ou 1,00
ESUBTB	TECH e IND	Elasticidade de substituição CRESH	0,3 a 1,00

Fonte: Elaboração própria com base em estimativas da literatura

4.3.1 Base de dados energética

Além da calibragem do núcleo central do modelo, um grande esforço de aperfeiçoamento e desagregação da MIP foi realizado, em razão da introdução de uma detalhada especificação de setores, produtos e parâmetros relacionados à questão energética brasileira. Este aperfeiçoamento teve como base as informações provenientes do Ministério de Minas e Energia (MME), de agências reguladoras do setor energético – especialmente a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); – e de diversas fontes de dados complementares. A principal fonte para a desagregação foi o Balanço Energético Nacional Consolidado para o ano de 2005.

Este aspecto marcante do modelo BeGreen consiste na introdução de uma base de dados constituída de informações energéticas nacionais incorporadas à modelagem, através da abertura (desagregação) de setores e produtos de caráter parcial ou integralmente energéticos. Esta desagregação proporciona os requisitos técnicos necessários para a modelagem energética e de emissões especificada nas seções anteriores.

Dentre os 55 setores produtivos da MIP, 10 indústrias foram desagregadas em razão do caráter parcial ou exclusivamente energético, a saber, Agricultura, silvicultura, exploração florestal; Petróleo e gás natural; Outros da indústria extrativa; Alimentos e bebidas; Refino de petróleo e coque; Álcool; Produtos químicos; Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos; Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana; e Serviços prestados às empresas. Já entre os produtos, destacam-se 15 *commodities* que foram decompostas em 29 produtos: Produtos da exploração florestal e da silvicultura; Petróleo e gás natural; Carvão mineral; Produtos das usinas e do refino de açúcar; Gás liquefeito de petróleo; Gasolina automotiva; Gasoálcool; Óleo combustível; Óleo diesel; Outros produtos do refino de petróleo e coque; Álcool; Produtos químicos inorgânicos; Produtos químicos orgânicos; Produtos e preparados químicos diversos e Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana.

Conceitualmente, a opção por uma estrutura de produção com vetores tecnológicos poderia se estender a todos os setores. No entanto, esta especificação requer dados sobre as características dos insumos usados em cada tecnologia dentro do setor. A intensidade de dados é a principal limitação prática, como já discutido. Dessa forma, a abordagem de vetor tecnologia foi aplicada somente nos setores de Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados. Os dados sobre o padrão de uso de insumos associado a cada tecnologia foi obtido a partir de publicações (EPE, 2010; ANEEL, 2005). Assim, o padrão de insumo utilizado representa a média de uma determinada tecnologia dentro do setor, ao invés de um padrão associado a qualquer planta particular.

4.3.2. Base de dados ambiental

A primeira etapa para composição do módulo ambiental reside na construção e calibração do banco de dados com a utilização das informações do Balanço Energético e do Inventário Brasileiro de Emissões. As emissões derivadas de combustíveis foram

obtidas do Balanço Energético Nacional 2005⁵², a partir de um aplicativo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Economia & Energia. Estas informações foram adaptadas aos setores do modelo, de forma a correlacionar o uso de combustíveis pelos setores com a emissão de GEE. As emissões foram associadas a 15 combustíveis: Petróleo, Gás natural, Carvão metalúrgico, Carvão Mineral, Lenha, Carvão vegetal, Bagaço de cana, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), Gasolina, Álcool, Óleo Combustível, Óleo Diesel, Querosene, Coque e Outros Produtos do Refino. As emissões associadas ao uso de combustíveis foram alocadas para cada setor de uso de acordo com a utilização do combustível, informação presente na base de dados do modelo BeGreen.

Outra forma importante de emissões são as associadas ao processo produtivo dos setores. Estas se caracterizam por não serem associadas ao uso de combustíveis fosseis, mas à atividade produtiva diretamente. Por exemplo, as emissões de metano dos rebanhos são classificadas como emissões pelo processo produtivo do setor pecuário. O Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2010) foi a base de dados utilizada para calibrar estas informações. Estas informações, por sua vez, foram associadas a setores econômicos do modelo.

Coefficientes de emissão foram necessários para a transformação das emissões em uma unidade comum, CO₂ equivalente (CO₂-e). Os coeficientes foram obtidos do Relatório Stern (STERN, 2007) e estão representados na Tabela 4.

TABELA 4 - Coeficientes técnicos de conversão em CO₂ equivalente

Gás de Efeito Estuf.	GWP*
CO ₂	1
CH ₄	23
N ₂ O	296
NMVOCS	3.4
CO	1.9
SF ₆	22800
HFC	14800

*GWP: Global Warming Potential.
Fonte: Stern (2007)

⁵² “Balanço de Carbono, Energia Equivalente e Final Brasil: 1970/2006” de autoria de Carlos Feu Alvim, Rafael Macêdo e Frida Eidelman. Disponível em http://ecen.com/ftp/bal_eec.zip

A Tabela 5 resume a base de dados de emissões do modelo BeGreen, indicando um volume de 1.005.883 Gg CO₂-e em 2005. As emissões derivadas do uso de combustíveis representam 40% do volume de emissões ao passo que os outros 60% estão associados à atividade produtiva dos setores (linha “Atividade”).

TABELA 5 - Emissões associadas ao uso de combustíveis e atividade econômica no Brasil (ano base 2005)

Fonte de emissões	Emissão (Gg CO₂-e)	Part.
Petróleo e gás natural	11943	1%
Carvão metalúrgico	12382	1%
Carvão mineral	44771	4%
Lenha	30122	3%
Carvão vegetal	27741	3%
Bagaço de cana	22450	2%
GLP	12288	1%
Gasolina	70675	7%
Óleo combustível	21141	2%
Óleo diesel	103812	10%
Querosene	15383	1%
Coque	15993	2%
Outros Refino Petróleo	17448	2%
Álcool	14929	1%
Uso de Combustíveis	421076	40%
Atividade	630757	60%
Total	1051833	100%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário Brasileiro e Balanço Energético.

As emissões decorrentes da atividade econômica estão descritas setorialmente na Tabela 6. Os setores de Pecuária e Pesca, Agricultura e Outros e Eletricidade representam as maiores fontes de emissão nessa categoria. A atividade da pecuária por si só representa mais da metade das emissões derivadas da atividade produtiva no Brasil.

TABELA 6 - Emissões associadas à atividade econômica no Brasil (ano base 2005)

Setores emissores por atividade produtiva	Total de emissões (Gg de CO₂-e)	Participa ção (%)
Pecuária e pesca	332515	53%
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	113299	18%
Água, esgoto e limpeza urbana	55867	9%
Fabricação de aço e derivados	52097	8%
Petróleo e gás natural	21729	3%
Cimento	19527	3%
Produtos químicos	15582	2%
Outros produtos minerais não-metálicos	7626	1%
Máquinas e equipamentos	5028	1%
Metalurgia de metais não-ferrosos	4586	1%
Outros da indústria extrativa	2703	0%
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	198	0%
Total atividade produtiva	630757	100%

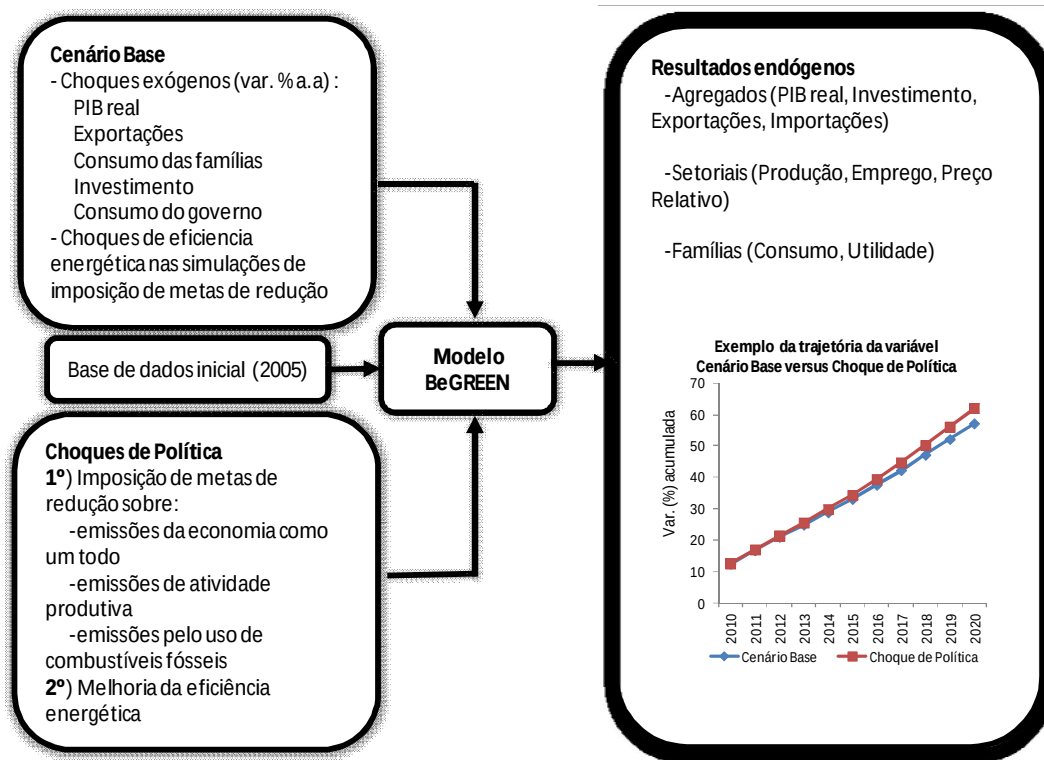
*Referente às emissões totais reportadas na Tabela 1.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário Brasileiro e Balanço Energético.

4.4 Simulações e definição dos choques de políticas de mitigação de GEE

Nesta seção, reportam-se os procedimentos utilizados nas simulações de políticas mitigatórias de GEE para uma economia de baixo carbono. Os mecanismos de dinâmica recursiva permitem a utilização explicitamente temporal do modelo EGC. As variáveis endógenas se ajustam ao longo do período de análise após os choques iniciais, tanto no cenário base (ou cenário de referência) quanto no cenário de política, que inclui choques específicos das simulações. A Figura 13 ilustra a dinâmica das simulações e de que forma o modelo é alimentado com informações do cenário base e de política.

FIGURA 13 - Simulações com o modelo BeGreen



Fonte: Elaboração própria

Nesta tese serão estudadas duas políticas de baixo carbono, de forma a reduzir as emissões de GEE na economia brasileira. A primeira delas, conforme pode se visualizar na figura, refere-se à imposição de metas de redução de emissão sobre a economia, alcançada através da taxação de carbono. Nessa política, os limites impostos às

emissões aplicam-se às emissões provenientes do uso de energia e da atividade produtiva dos setores, incluindo, por exemplo, as emissões decorrentes da produção agropecuária. O preço do carbono para se atingir determinada meta pode ser interpretado não somente como um imposto corretivo pigouviano (Pigou, 1920), mas também pode ser analisado como o custo de redução de emissões que as empresas ou setores se deparariam com a imposição de uma meta (ou limite) das suas emissões. Endogenamente, o modelo calcula este custo ou preço de carbono.

A segunda política analisada nesta tese é o aumento da eficiência no uso de energia. Esta tem sido uma política efetivamente discutida no âmbito das propostas de mitigação de GEE no caso brasileiro e, portanto, merece atenção. Cada uma dessas simulações serão mais bem discutidas nas próximas seções.

O cenário base, conforme expõe a figura 13, deve refletir, tanto quanto possível, as mudanças projetadas na economia brasileira ao longo do período de estudo (2005 a 2030). Representa, assim, qual seria a trajetória da economia sem políticas de restrição de emissões. A elaboração de um cenário base ou *confractual* é um componente importante numa simulação quando se utiliza um modelo dinâmico (Adams e Parmenter, 2000). Tal construção possibilita visualizar duas trajetórias para cada variável de interesse: uma trajetória que mostra como a variável iria mudar ao longo do tempo não considerando a questão que se deseja estudar; e a trajetória de como a variável se comportaria com a política em vigor, que no caso desta tese refere-se a políticas de mitigação de emissões de GEE.

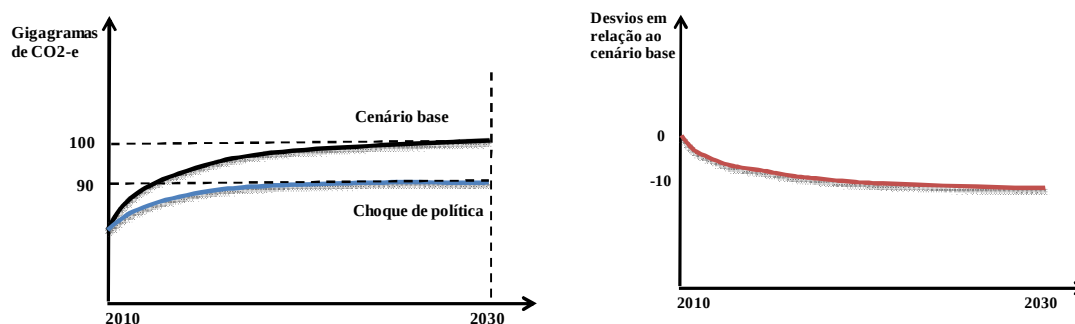
A diferença entre estas trajetórias (cenário base e o cenário com o choque de política) representa o efeito adicional da imposição de um controle de emissões ou aumento da eficiência energética sobre a economia. Normalmente, essas diferenças são acumuladas ao longo do período de análise para ilustrar o impacto sobre determinada variável, como mostra o exemplo da figura 13.

No ano de 2011 são aplicadas as políticas de controle de emissão na economia brasileira, para compor o cenário de política⁵³. Assim, novas simulações encadeadas, ano a ano, permitem-nos analisar os resultados até 2030, a partir de desvios acumulados

⁵³ A variável do modelo utilizada para a aplicação dos choques de taxaço denomina-se *delgastax_sq* (imposto para taxaço de emissões por combustíveis e por nível de atividade).

em relação ao cenário base até 2030. A Figura 14 ilustra este procedimento, com a trajetória hipotética de emissões.

FIGURA 14 – Interpretação dos resultados das simulações do modelo BeGreen



Fonte: Elaboração própria

O modelo produz, assim, um amplo conjunto de resultados macroeconômicos, setoriais (58), por produto (124) e famílias (10), o que permite avaliar detalhadamente os impactos das políticas de redução de emissões.

4.4.1. Cenário Base

A evolução da economia no período 2005-2030 é baseada em um cenário de crescimento do PIB, consumo das famílias, governo, investimento, exportações, além de pressuposições exógenas sobre o aumento de eficiência energética e produtividade da terra. Mais que isso, o cenário base configura-se como um cenário tendencial da economia em que desvios em relação a ele podem ser mensurados, estimando-se os efeitos de choques de políticas específicas.

O cenário macroeconômico utilizado como cenário base parte de um modelo teórico de consistência macroeconômica, proposto por Giambiagi e Pastoriza (1997), e adaptado para esta tese. Tal modelo foi construído a partir do referencial de um conjunto de identidades (contábeis) macroeconômicas e de relações paramétricas entre variáveis macroeconômicas, sendo parte destas variáveis exógenas. Trata-se de um modelo de simulação que possibilita obter resultados consistentes para as variáveis

macroeconômicas (PIB, consumo das famílias, investimento, consumo do governo e exportações) no médio e longo prazos⁵⁴

Esse modelo parte de um conjunto de identidades contábeis e de relações paramétricas pré-determinadas, definidas a partir de um sistema de equações que guarda consistência interna entre elas. Essas equações estão estruturadas em quatro blocos: a) Fiscal; b) Contas Nacionais e Mercado de Trabalho; c) Externo; e d) Financiamento do Investimento. O modelo considera as seguintes variáveis como exógenas: a taxa de crescimento do PIB real, o déficit operacional do setor público, a taxa de crescimento do PIB potencial, a taxa de investimento do Governo (Governo Central e Estados e Municípios), a taxa de juros real doméstica, a taxa de juros nominal externa (adicionada ao risco-país) e a taxa de crescimento das reservas externas. Uma exposição mais detalhada da estrutura do modelo pode ser encontrada no Anexo 2 desta tese, seguindo Domingues *et al* (2011).

O cenário base desta tese, portanto, adota projeções macroeconômicas obtidas a partir de indicadores do modelo de consistência, uma vez que apresenta fundamentos macroeconômicos consistentes. Do modelo foram utilizados cinco resultados em taxas de variação percentual ao ano: PIB, Investimento, Consumo das Famílias, Consumo do Governo e Exportações, de 2011 a 2030. Para os anos de 2006 a 2010, utilizaram-se os dados de crescimento observados para o período a partir das Contas Nacionais. Estas projeções entraram como choques no modelo de EGC, que obtém endogenamente o cenário completo para a economia brasileira até o ano de 2030: uma simulação inicial é realizada de forma que as cinco variáveis macroeconômicas sejam projetadas em cada ano de acordo com as taxas de crescimento obtidas a partir do modelo de consistência. Nesta simulação⁵⁵, as variáveis de mudança tecnológica ou produtividade respondem endogenamente para garantir que o cenário acompanhe a projeção. Os valores para estas variáveis, por sua vez, fornecem uma estimativa de quanto a tecnologia/preferências

⁵⁴ Sua principal vantagem é a flexibilidade com que é possível modificar as variáveis exógenas (PIB como a principal delas) e observar o comportamento das demais variáveis, tanto fiscais quanto do setor externo e das Contas Nacionais. O modelo possui ainda a vantagem de ser capaz de identificar possíveis combinações de valores das variáveis exógenas que geram determinados resultados para a dinâmica das variáveis endógenas. É possível, pois, conhecer combinações de valores das variáveis compatíveis com um quadro de equilíbrio interno e externo. Entre suas desvantagens está o número excessivo de combinações de valores para as variáveis exógenas e endógenas do modelo que respeitam as identidades contábeis, isto é, que respeitam o requisito de consistência macroeconômica.

⁵⁵ Esta simulação é conhecida como “*Baseline Rerun*” no software GEMPACK, pois reproduz endogenamente o cenário especificado exogenamente.

devem se modificar ao longo do período. O cenário base é, então, novamente simulado, porém utilizando os valores encontrados para a variável tecnológica (tornam-se exógenos), fazendo com que o PIB e as demais variáveis macroeconômicas sejam determinadas endogenamente. O objetivo destas simulações é assegurar que tais variáveis respondam como o projetado e também que se estabeleça um cenário de referência para posterior comparação com o cenário a ser estudado. A Tabela 7 resume os principais indicadores macroeconômicos do cenário entre 2012 e 2030, que são utilizados nas simulações com o modelo BeGreen para a economia brasileira.

TABELA 3 – Principais variáveis do cenário macroeconômico – variações percentuais médias para períodos especificados (var. %)

Indicadores	2012-15	2016-19	2020-23	2024-27	2028-30	2012-30
PIB	4.25	3.75	4.12	4.00	4.00	4.02
Consumo das famílias	3.10	3.49	3.65	3.97	3.97	3.63
Consumo do governo	3.10	3.49	3.65	3.97	3.97	3.63
Investimento	6.19	4.05	4.50	4.10	4.10	4.59
Exportações	4.00	5.62	6.15	5.50	5.50	5.35

Fonte: Modelo de consistência macroeconômica.

O cenário para a economia brasileira está ancorado no crescimento médio do PIB de cerca de 4% ao ano de 2012 a 2030. O cenário também se caracteriza pela aceleração do crescimento da economia brasileira no biênio 2013-2014 (aumento dos gastos com investimentos voltados para infraestrutura, Copa do Mundo e Olimpíadas) seguido de uma leve desaceleração até 2019. Entre 2020 e 2030 há um crescimento mais estável, de 4% ao ano. Pressões inflacionárias, embora crescentes entre 2010 e 2015 e entre 2019 e 2027, não são fortes o suficiente para um quadro de descontrole da inflação. As participações das exportações e das importações no PIB da economia brasileira crescem entre 2010 e 2030, com uma tendência de elevação do superávit comercial.

Para responder aos objetivos das simulações de política desta tese, o cenário base para cada uma delas foi ligeiramente modificado. O quadro 6 especifica os cenários base para cada uma das políticas de redução de emissão estudadas nesta tese. Estas modificações não alteram o comportamento macro da tabela 3.

QUADRO 6 - Cenário Base e Cenário de Política: Resumo esquemáticos das simulações

<i>Simulações de políticas</i>	<i>Cenário Base</i>	<i>Cenário de política</i>
Imposição de metas de redução de emissões	<i>Cenário Macroeconômico (Tabela X)</i> -Período observado (2006 a 2010); -Período projetado (2011 a 2030). <i>Cenário Energético (Tabelas X e Y)</i> -Período projetado (2011 a 2020).	<i>Choques de restrição de emissão de gases de efeito estufa</i> -Metas de 5, 10, 15, 20 e 25% de redução de emissões até 2030 -Cortes uniformes anuais de 2011 a 2030 até o alcance das metas em 2030
Aumento de eficiência energética	<i>Cenário macroeconômico (Tabela 5.1):</i> -Período observado (2006 a 2010); -Período projetado (2011 a 2030).	<i>Choques de aumento da eficiência energética</i> -Choques de aumento da conservação de energia baseadas no PDEE 2020 e PDE 2030 -Choques dos custos associados ao investimento em melhorias de eficiência até 2030

Fonte: Elaboração própria

Na elaboração do cenário-base para o caso das simulações de imposição de metas de redução de emissões, foram utilizadas estimativas de evolução de mudanças no uso da energia, para o período de 2011 a 2030, obtidas a partir de projeções setoriais de indicadores de conservação energética provenientes do Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (EPE, 2010), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, do Ministério de Minas e Energia (EPE/MME)⁵⁶. Tratam-se de mudanças de eficiência no consumo intermediário de energias não-elétricas e elétricas; e também mudanças de eficiência no consumo das famílias. Estas informações representam, portanto, projeções tendenciais esperadas de aumento na eficiência energética tanto no consumo intermediário quanto das famílias ao longo do período em análise, e por isso, são incluídas no cenário-base, para o caso das simulações de metas de emissão. Estes valores, entretanto, não serão utilizados no cenário base na segunda simulação de política de mitigação desta tese, mas sim como choques de política. Pretende-se, pois, mensurar o impacto sobre os níveis de emissão das perspectivas de melhoria energética contidas no Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. A próxima seção detalha cada um dos cenários de política mencionados.

⁵⁶ Tais informações tiveram de ser tratadas de forma a anualizar as projeções quadrienais e expandi-las até 2030, assumindo que as projeções das taxas de eficiência energética até o final do período (2030) não se modificariam significativamente em relação as de 2020.

4.4.2 Cenário de política.

4.4.2.1 Imposição de metas de redução de emissões de GEE

Tendo como motivação as metas de redução de emissão propostas pela Política Nacional foram realizadas simulações para diferentes metas de redução em relação a um cenário base em 2030: 5, 10, 15, 20 e 25%.

Tais metas se traduzem em preços de carbono sobre as diferentes fontes de emissões de GEE (combustíveis e setores produtivos) e usuários (setores, famílias, etc). Se este mercado cobre todas as emissões e é competitivo como assume o modelo BeGreen, o preço de carbono será igual ao Custo Marginal de Abatimento para uma determinada meta, que reflete o custo de redução de emissões, podendo ser também traduzido como um preço implícito, ou preço-sombra. Além disso, o custo marginal de abatimento será igual para todos os emissores, o que é uma condição custo-efetividade da política.

Assim, a política de imposição de metas de redução de emissões se reflete sob a forma de uma precificação de carbono, afetando preços relativos e, por conseguinte o uso de insumos energéticos, o nível de atividade e as emissões. Pode-se adotar um mecanismo de tributação neutro, de forma que a receita com impostos retorna às famílias por meio de subsídio ao preço dos produtos ou sobre a forma de aumento na renda⁵⁷. Outra hipótese que pode ser assumida é a de progresso tecnológico a custo neutro, no qual se permite que os produtores poupem uma parte do imposto para investir em inovações tecnológicas na atividade produtiva, permitindo assim um abatimento endógeno em resposta à tributação de carbono.

Como existe certa incerteza quanto aos mecanismos de redução de emissões, para cada meta foram implementadas 3 simulações com diferentes hipóteses: a primeira (Cenário 1), representa a simulação em que apenas são impostas restrições de emissões no montante das metas especificadas. O cenário 2, por sua vez, representa o cenário no qual, além da imposição de metas, que representa uma tributação sobre o conteúdo de carbono, o imposto é parcialmente devolvido sob a forma de subsídio ao consumo das famílias. Nesse caso, por se considerar mais plausível, apenas a parcela da arrecadação

⁵⁷ Poderia se pensar numa redução de Imposto de Renda para as famílias, em decorrência da taxação de carbono.

proveniente do uso de energia das famílias é devolvido sob a forma de subsídio. O Cenário 3 inclui a hipótese de progresso tecnológico no qual há respostas de abatimento às emissões.

Como já mencionado, o modelo permite que as emissões não relacionadas ao uso de combustíveis, diretamente proporcionais à produção dos setores, possam sofrer abatimento em resposta à imposição de um preço sobre o carbono. Esta redução está diretamente relacionada a este preço. Conforme aponta Adams *et al.* (2006), a partir de estimativas pontuais, as constantes de proporcionalidade de um imposto de \$100 dólares por tonelada de carbono, poderia ter como efeito⁵⁸.

- i) Redução das emissões da agricultura em até 60%;
- ii) Queda das emissões fugitivas da extração de petróleo em 40%.
- iii) Queda de até 25% nas emissões de Fundição de Alumínio e Refino.
- iv) Diminuição de até 10% nas emissões dos setores de Gás Natural, Extração de carvão, Produtos químicos, Cimento e Outros serviços.

Para capturar esta possibilidade no caso brasileiro, o valor de abatimento foi definido a partir do nível do preço de carbono das simulações, assumindo, de forma conservadora, que um imposto acima de R\$ 100 por tonelada de carbono tem como efeito uma redução de até 10% nas emissões dos setores que emitem GEE. Abaixo de R\$ 100 por tonelada de carbono calculou-se uma proporção em relação a este valor. O quadro 7 resume as hipóteses adotadas nas simulações.

QUADRO 7 - Cenários e hipóteses das simulações de metas de redução de emissões com o modelo BeGreen.

Simulações	Hipóteses			
	Metas de redução (m)	Devolução do imposto (d)	Progresso tecnológico neutro (pr)	Abatimento endógeno
Cenário 1	X			
Cenário 2	X	X		
Cenário 3	X	X	X	1 a 10%

Fonte: Elaboração própria.

⁵⁸ Os autores enfatizam que os valores, calculados com base em valores pontuais para a Austrália, são especulativos, e que, para a economia australiana, são realmente importantes apenas para a agricultura.

4.4.2.2 Melhoria da eficiência e conservação de energia.

Uma segunda alternativa de redução de emissões de carbono bastante discutida como política de mitigação é o aumento da eficiência no uso de energia, especialmente de combustíveis fósseis, através de estímulos à adoção de tecnologias que poupem energia, proporcionem maior eficiência energética e redução do consumo de energia.

Esta simulação tem como motivação as estimativas e perspectivas contidas no PDEE 2020 elaborado pela EPE. A eficiência energética, conforme o estudo aponta, é entendida como sendo a relação entre a quantidade de um bem produzido ou serviço realizado e o correspondente montante de energia final. Os valores de energia conservada indicam a diferença entre a projeção do consumo final de energia⁵⁹, incorporando ganhos de eficiência energética, e o consumo que ocorreria caso fossem mantidos os padrões tecnológicos observados no ano base, 2010 (EPE, 2011)⁶⁰.

As avaliações prospectivas da eficiência energética no PDEE consideraram a existência de dois movimentos (EPE, 2011):

- i) progresso tendencial: corresponde ao aumento da eficiência em uma trajetória do tipo business-as-usual, incluindo a reposição tecnológica pelo término da vida útil de equipamentos e os efeitos de programas e ações de conservação já em execução no país.
- ii) progresso induzido, referente à instituição de programas e ações adicionais orientados para setores específicos, refletindo políticas públicas; programas e mecanismos ainda não implantados no Brasil.

Logo, a magnitude dos indicadores de eficiência ou economia de energia no PDEE são decorrentes dos efeitos combinados dos progressos tendencial e induzido, ainda que com predominância do progresso tendencial, dado o horizonte do período de análise (2010-2020).

⁵⁹ Conforme definição do Balanço Energético Nacional (EPE, 2009), consumo final de energia é a “energia primária e secundária que se encontra disponível para ser usada por todos os setores de consumo final do país”.

⁶⁰ Nas projeções não são consideradas mudanças de hábitos de consumo ou de regimes de operação de equipamentos, mas apenas ganhos associados ao consumo específico de cada equipamento ou processo avaliado (EPE, 2011).

Para o uso destes dados nesta tese, utiliza-se o efeito da conservação de energia a partir de 2011 (ano base 2010), representando a eficiência energética no consumo de combustíveis e eletricidade projetada até 2020. Os resultados encontrados, conforme aponta o próprio plano são consistentes com os valores considerados no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf).

Cabe destacar que para alguns setores de consumo final (setores industriais como Máquinas e equipamentos, Eletrodomésticos, Material eletrônico, dentre outros) a difusão de alternativas eficientes de uso de eletricidade será mais acelerada em relação aos demais setores. Tal comportamento é observado nas indústrias cujo peso dos custos da eletricidade é elevado, de modo que a busca por eficiência energética tende a ser um componente indispensável de competitividade em seu mercado (EPE, 2007).

Conforme já salientado anteriormente, as mudanças de eficiência energética representam modificações no consumo intermediário de energias não-elétricas e elétricas; e também no consumo das famílias. Para os choques, utiliza-se a noção de mudança tecnológica. Neste quadro, uma melhoria na eficiência energética significa um aumento na produção efetiva gerada por uma determinada quantidade de energia. Nas simulações, as variáveis que capturam esta noção são as mudanças tecnológicas no consumo intermediário e no consumo das famílias.

Ademais, as estimativas contidas no plano cobrem o período de 2011 a 2020. Para 2021 a 2030, assumiu-se que as projeções das taxas de eficiência energética até o final do período (2030) não se modificariam em relação às de 2020. Os setores do modelo tiveram que ser compatibilizados para se adequar aos utilizados pela EPE. No acumulado, considerando todos os setores de consumo final, o aumento da eficiência de energias elétricas até 2030 é de 8,46%, ao passo que os ganhos de eficiência de energias não-elétricas (combustíveis) chegam a 11,3%. A tabela 8 retrata as variações de eficiência energética acumulada para os setores e famílias do modelo. As primeiras quatro colunas referem-se às variações acumuladas em cada período especificado da conservação de energia elétrica. Isso significa, por exemplo, que é esperado para o período de 2011 a 2030, um aumento acumulado de 8,21% de eficiência no setor de Agricultura, silvicultura e exploração florestal como decorrência da maior de conservação de energia dos produtos: Energia hidroelétrica de auto-geração, Energia térmica de auto geração e Distribuição de energia elétrica.

**TABELA 8 – Evolução de Indicadores de Conservação Energética por Setor
(Energias Elétricas e Não-Elétricas)¹ (var. % acumulada)**

Setores	Conservação Elétrica (var. % acumulada)				Conservação não Elétricas (var. % acumulada)			
	2011-2015	2011-2020	2011-2025	2011-2030	2011-2015	2011-2020	2011-2025	2011-2030
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Pecuária e pesca	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Petróleo e gás natural	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Minério de ferro	2.04	3.60	5.18	6.79	3.03	5.37	7.77	10.22
Outros da indústria extrativa	2.04	3.60	5.18	6.79	3.03	5.37	7.77	10.22
Alimentos e bebidas	1.81	3.20	4.61	6.03	1.74	3.08	4.44	5.82
Produtos do fumo	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Têxteis	0.62	1.10	1.58	2.06	1.09	1.93	2.77	3.63
Artigos do vestuário e acessórios	0.62	1.10	1.58	2.06	1.09	1.93	2.77	3.63
Artefatos de couro e calçados	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Produtos de madeira - exclusive móveis	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Celulose e produtos de papel	2.15	3.80	5.47	7.18	2.15	3.80	5.48	7.19
Jornais, revistas, discos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Refino de petróleo e coque	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Álcool	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Produtos químicos	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Fabricação de resina e elastômeros	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Produtos farmacêuticos	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Defensivos agrícolas	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Perfumaria, higiene e limpeza	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Produtos e preparados químicos diversos	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Artigos de borracha e plástico	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Cimento	1.19	2.10	3.02	3.95	4.12	7.31	10.58	13.96
Outros produtos de minerais não-metálicos	2.89	5.10	7.36	9.67	8.42	14.92	21.81	29.10
Fabricação de aço e derivados	3.57	6.30	9.10	11.98	5.43	9.61	13.96	18.49
Metalurgia de metais não-ferrosos	1.59	2.80	4.03	5.27	4.79	8.48	12.30	16.26
Produtos de metal	3.97	7.00	10.12	13.34	2.75	4.87	7.04	9.24
Máquinas e equipamentos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Eletrodomésticos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Máquinas para escritório e eq. de informática	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Material eletrônico e eq. de comunicações	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Automóveis, camionetas e utilitários	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Caminhões e ônibus	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Piças e acessórios para veículos automotores	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Outros equipamentos de transporte	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Móveis e produtos das indústrias diversas	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Geração de eletricidade	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Transmissão e distribuição de eletricidade	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Distribuição de gás natural	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Água, esgoto e limpeza urbana	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Construção	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Comércio	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Transporte, armazenagem e correio	2.35	5.18	8.09	11.08	2.89	5.06	7.28	9.55
Serviços de informação	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Intermediação financeira e seguros	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços imobiliários e aluguel	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços de manutenção e reparação	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços de alojamento e alimentação	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços prestados às empresas	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Educação mercantil	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Saúde mercantil	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Outros serviços	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Educação pública	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Saúde pública	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Administração pública e seguridade social	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Setor residencial	2.06	3.86	5.69	7.55	0.98	3.56	6.20	8.91

Fonte: Elaboração própria com base no Plano Decenal de Eficiência Energética 2020.

Obs.: Os indicadores referentes a conservação elétrica são aplicáveis aos bens energéticos: Energia hidroelétrica de auto-geração, Energia térmica de auto geração e Distribuição de energia elétrica, ao passo que as referentes a conservação não-elétrica são aplicáveis a Lenha, Carvão vegetal, Carvão metalúrgico, Carvão mineral, Bagaço de cana, Gás liquefeito de petróleo, Gasolina, Óleo combustível, Óleo diesel, Querosene, Coque, Álcool, Urânio, Gás natural.

De modo similar, as quatro últimas colunas, representam as variações acumuladas da conservação de energia não elétrica, que se aplicam aos produtos Lenha, Carvão vegetal, Carvão metalúrgico, Carvão mineral, Bagaço de cana, Gás liquefeito de

petróleo, Gasolina, Óleo combustível, Óleo diesel, Querosene, Coque, Álcool, Urânio e Gás natural. Neste caso, o aumento projetado da eficiência energética sobre a Agricultura, por exemplo, é de 11,58% entre 2011 e 2030.

Outro ponto fundamental considerado nos choques relativos à eficiência energética refere-se aos custos inerentes à adoção de tecnologias mais eficientes. Estes custos foram obtidos das estimativas do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007). Os custos da energia economizada são resultado da divisão dos custos de implantação da medida (investimento inicial anualizado acrescido dos custos de operação e manutenção) pela energia anual poupada. Tendo por base o estudo do EPE, assume-se um custo médio de 45 US\$ por cada MWh de energia conservadas (R\$ 90/MWh - paridade de R\$ 2,00 por dólar)⁶¹, considerando o que se denomina “Cenário de mercado”, que reflete o cenário onde as medidas de eficiência estejam viáveis do ponto de vista do mercado, ou seja, aquelas cuja adoção traria redução de custos ao usuário, analisadas, portanto, apenas pela sua economia de custos. Nas simulações, estes custos foram introduzidos através de um aumento nos custos de produção dos setores, via alteração na taxa dos custos de produção. Esta especificação nos choques das simulações evita o problema de introdução de melhorias tecnológicas sem custo, que necessariamente iriam repercutir de forma positiva nas simulações, um resultado pouco realista. Feito dessa forma, consideramos, explicitamente, custos da política adotada.

Três cenários foram simulados para esta política. O primeiro, denominado Ef_1 corresponde ao cenário no qual são aplicados os choques de aumento da eficiência em conformidade com as projeções da EPE juntamente com as estimativas dos custos associados às medidas de eficiência energética. Os cenários Ef_2 e Ef_5, por seu turno, representam os cenários hipotéticos no qual o aumento da eficiência energética seria duas e cinco vezes maiores do que o projetado pela EPE, respectivamente⁶². Dessa forma, busca-se capturar o impacto sobre as emissões, por exemplo, de cenários em que os investimentos e consequentes ganhos de eficiência energética fossem mais intensos e efetivos, em maior consonância com o potencial brasileiro de conservação de energia, como apontam os Planos Decenais.

⁶¹ Estudo da CNI (2009) também estimou em R\$ 79/MWh o custo médio de medidas de eficiência energética.

⁶² Do mesmo modo, assumiu-se que os custos médios de medidas de eficiência energética seriam multiplicados pela mesma proporção dos choques de eficiência.

4.5 Fechamentos

O conjunto de variáveis exógenas e endógenas definido nas simulações representa as hipóteses sobre o funcionamento da economia. Essa escolha é conhecida como fechamento do modelo. O fechamento de um modelo de equilíbrio geral impõe ao mesmo o caráter teórico que se pretende para determinada economia. Conforme salienta Ferreira Filho (1998), esta questão é desprovida de aleatoriedade, condicionando-se a sua determinação não só à visão teórica imposta ao modelo, mas também à natureza do problema investigado. Para a composição das simulações em dinâmica recursiva foram utilizados dois fechamentos: o Fechamento Base e o Fechamento de Política. O primeiro define as variáveis exógenas que operam no Cenário Base e o segundo, no Cenário de Política. Os Quadros 8 e 9 definem os dois fechamentos.

QUADRO 8 - Hipóteses dos fechamentos do modelo – Cenário base

Fechamento Base	
Variáveis exógenas do PIB real (lado da oferta)	
x1lnd	Dotação de terra por setor
mom	Taxa de retorno bruta
gtrend	Taxa bruta de retorno setorial tendencial
emptrend	Emprego tendencial
a1cap a1lab_o a1lnd a1tot a2tot a1auto a1nren a1ren	Mudanças tecnológicas
Variáveis exógenas do PIB real (lado do gasto)	
x3toth	Gasto agregado no consumo privado real por família
x2tot_i	Gasto agregado no investimento real
x4	Demanda por exportações
x5tot	Gasto agregado no consumo real do governo
f5	Distribuição das demandas do governo
fx6	Demandas reais por estoques
Condições externas: preços das importações fixos; curvas de demanda por exportações fixas no preço e quantidade	
pf0cif	Preços externos das importações
f4p f4q	Deslocamento das Exportações setoriais
Todos os impostos são exógenos	
delPTXRATE f0tax_s f1tax_csi f2tax_csi f3tax_cs f5tax_cs t0imp f4tax_trad f4tax_ntrad f1oct deltax deltax1all deltax2all deltax3all deltax5	
Distribuição do investimento entre os setores	
finv1(setores selecionados)	Investimento relacionado a lucros
Número de famílias e preferências no consumo são exógenas	
q	Número de famílias
a3_s	Preferências das famílias por bens
Módulo ambiental	
Todas Simulações	
agasact ac agreeen deltax3comp delgastax_sq deltaxrev	Mudanças tecnológicas e Mudanças ordinárias da tributação
Numerário	
phi	Taxa nominal de câmbio

Fonte: Elaboração própria.

QUADRO 9 - Hipóteses dos fechamentos do modelo – Cenário de política

Fechamento de política	
Variáveis exógenas do PIB real (lado da oferta)	
x1lnd	Dotação de terra por setor
momm	Taxa de retorno bruta
gtrend	Taxa bruta de retorno setorial tendencial
emptrend	Emprego tendencial
a1cap a1lab_o a1lnd a1tot a2tot a1auto a1nren a1ren a1printot	Mudanças tecnológicas
Variáveis exógenas do PIB real (lado do gasto)	
invslack	Investimento agregado determinado pelas configurações do investimento setorial
f5tot	Demanda do governo ligada à demanda das famílias
f3tot	
f5	Distribuição das demandas do governo
debx6	Demandas reais por estoques
Condições externas: preços das importações fixos; curvas de demanda por exportações fixas no preço e quantidade	
pf0cif	Preços externos das importações
f4p f4q	Deslocamento das Exportações setoriais
Todos os impostos são exógenos	
delPTXRATE f0tax_s f1tax_csi f2tax_csi f3tax_cs f5tax_cs t0imp f4tax_trad f4tax_ntrad f1oct deltax deltax1all deltax2all deltax3all deltax5	
Distribuição do investimento entre os setores	
finv1(setores selecionados)	Investimento relacionado a lucros
Número de famílias e preferências no consumo exógenas	
q	Número de famílias
a3_s	Preferências das famílias por bens
Módulo ambiental	
Simulação carb_m	
f_agasact ac f_agreen deltax3comp delgastax_sq deltaxrev xgastot	Mudanças tecnológicas, Mudanças ordinárias da tributação e Metas de redução de emissão
Simulação carb_d_fam	
f_agasact ac f_agreen fcomp3 delgastax_sq deltaxrev xgastot	Mudanças tecnológicas, Mudanças ordinárias da tributação e Metas de redução de emissão
Simulação carb_d_pr1	
f_agasact ac f_agreen fcomp3 delgastax_sq deltaxrev	Mudanças tecnológicas, Mudanças ordinárias da tributação e Metas de redução de emissão
Simulação eficiência energética	
a1 a3	Mudanças tecnológicas sobre o consumo intermediário e consumo das famílias
Numerário	
phi	Taxa nominal de câmbio

Fonte: Elaboração própria

CAPÍTULO 5 - Simulações de Políticas de Redução de Emissões de GEE na Economia Brasileira

O foco deste capítulo é apresentar os impactos econômicos das políticas de mitigação das emissões de GEE para uma economia de baixo carbono, elucidando os efeitos da distorção nos preços e quantidades em todos os mercados da economia ao longo do tempo.

Como já ressaltado no capítulo anterior, duas políticas de redução de emissões foram simuladas. A primeira simula a imposição de metas de redução de emissões sobre a economia, que é atingida através da imposição de um preço sobre o carbono, que pode ser interpretado tanto como um imposto, um custo implícito de abatimento de emissões para as empresas, ou o preço de carbono inicial em um futuro sistema de licenças negociáveis de emissão (mercado de carbono).

A segunda política projetada nesta tese refere-se à simulação de eficiência energética baseadas nas premissas do PDEE (2010).

As mudanças nos preços relativos, decorrente da imposição de um controle de emissões de carbono, induzem ajustamentos nas quantidades de combustíveis fósseis utilizadas como insumo por produtores e consumidores, possibilitando reduções na demanda de fontes energéticas carbono-intensivas, alterando a competitividade e participação dos insumos ou tecnologias. O modelo produz estas mudanças por dois mecanismos principais: i) primeiro ao considerar a possibilidade de substituição entre insumos intermediários, por mecanismos de ajustamento nos preços e elasticidades imperfeitas de substituição e ii) ao incorporar mecanismos de progresso tecnológico a custo neutro. Além disso, emissões decorrentes do processo produtivo (não derivadas do uso de combustíveis) ao sofrerem metas de emissões, repercutem sobre os custos de produção dos setores e da economia.

O capítulo está organizado em duas seções: na primeira são reportados os resultados referentes a políticas de controle de emissões.. A segunda seção analisa os resultados de uma política de aumento da eficiência energética. Em cada seção, são mostrados primeiramente os resultados agregados (PIB, consumo das famílias, investimento, exportações, emprego e redução de emissões). Em seguida, apresentam-se os impactos

setoriais. A terceira seção estuda os impactos acumulados das emissões por fontes para um melhor entendimento das reduções de emissões obtidas. E por fim, analisam-se a incidência das políticas sobre as famílias, a partir de resultados sobre o consumo e a utilidade, uma *proxy* para os impactos distributivos de Bem-estar.

Primeiramente, faz-se necessário uma análise do cenário base, que tem por objetivo capturar o padrão (tendência) de crescimento da economia brasileira na ausência de políticas de controle de emissões. Esta análise é importante uma vez que os resultados obtidos das políticas são desvios em relação a este cenário.

5.1 Cenário base

O cenário base desta tese baseia-se em indicadores projetados por um modelo de consistência macroeconômica. Desta forma, para construção do cenário foram utilizadas as projeções do PIB, Investimento, Consumo das Famílias, Consumo do Governo e Exportações como variáveis exógenas no modelo BeGreen (Fechamento Base). Numa segunda simulação, a variação do PIB e seus demais componentes, como importação, por exemplo, foram determinados endogenamente pelo modelo EGC, gerando a consistência do cenário (setorial e dos agregados).

Assim, os números apresentadas na tabela 9 representam o cenário base da economia brasileira até 2030. As simulações são anuais, entretanto, como forma de tornar a análise mais prática e menos exaustiva, apresentar-se-á o cenário para 4 sub-períodos: 2010-2015, 2016-2020, 2021-2025 e 2026-2030.

TABELA 9 - Resultados Macroeconômicos do Cenário Base.

Resultados Macroeconômicas	Crescimento médio anual (var. %)			
	2011-2015	2016-2020	2021-25	2026-2030
PIB real	3.94	3.90	4.00	4.00
Consumo das Famílias	3.29	3.58	3.97	3.97
Investimento	5.50	4.06	4.10	4.10
Exportações	4.10	5.60	5.50	5.50
Importações	5.00	4.08	4.88	5.11
Emprego	3.06	3.25	3.10	3.02
Emissões sem estimativas de eficiência energética	3.85	3.82	3.95	3.92
Emissões com estimativas de eficiência energética	3.56	3.59	3.73	3.70

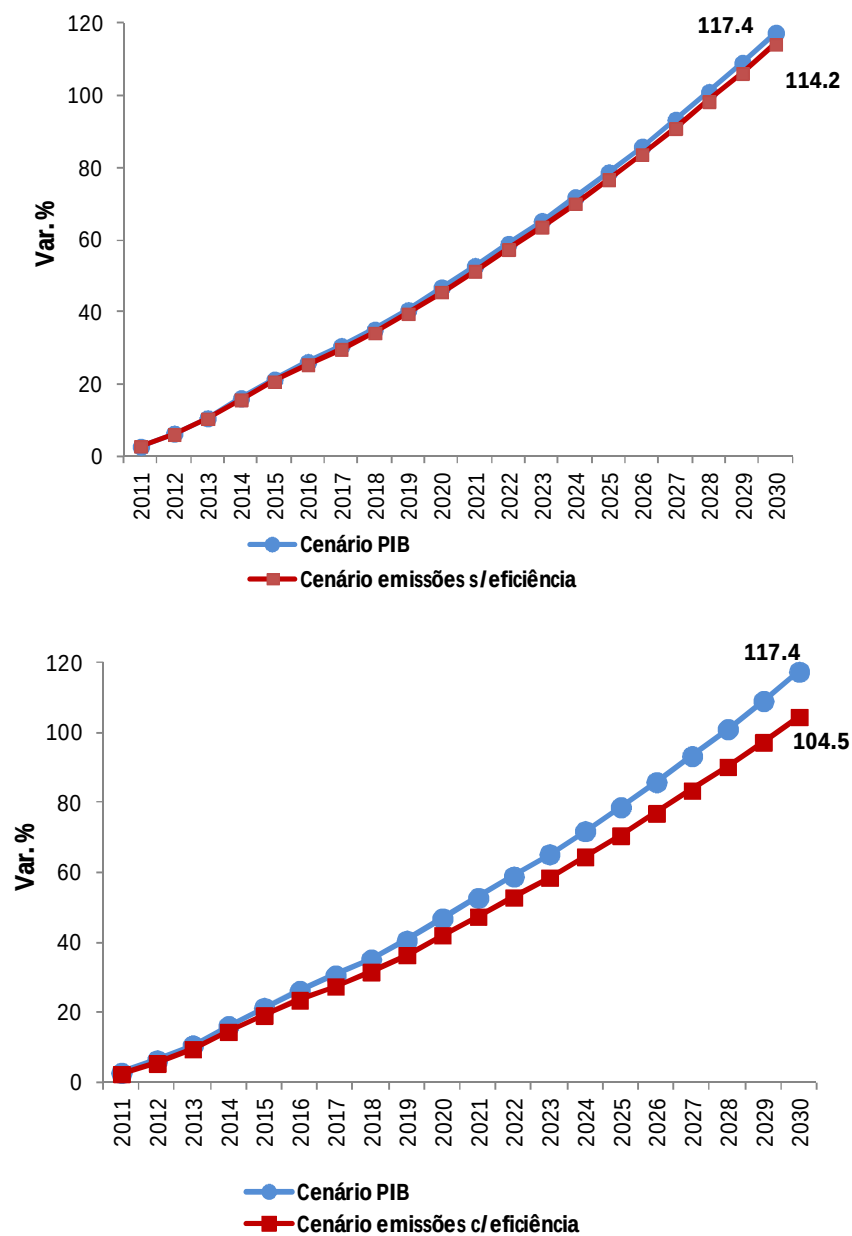
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Como mencionado anteriormente, o Cenário Base para a economia brasileira está ancorado em um crescimento do PIB de 4% anuais, com um arrefecimento do crescimento do investimento e das exportações ao longo do período, porém conjugado a uma aceleração do consumo das famílias e do governo. Os resultados ainda mostram uma queda da expansão do emprego até 2030 (mecanismo recursivo impõe uma taxa de 3% sobre o emprego tendencial).

Deve-se lembrar que para cada simulação de política, foi definido dois cenários base distintos. A diferença reside fundamentalmente na inclusão ou não das estimativas de eficiência energética. Assim, na simulação de metas de emissão, as estimativas de eficiência foram consideradas no cenário base, ao passo que na simulação de aumento da eficiência energética, o cenário base apenas incluiu as projeções macroeconômicas. O comportamento dos agregados macroeconômicos são semelhantes nos dois cenários base, pois seguem as projeções macroeconômicas. Uma variável que difere, no entanto, são as emissões totais. Dessa forma, reportou-se o crescimento das emissões considerando o cenário base em que as estimativas de eficiência energética são incluídas e o cenário no qual não estão presentes. Em ambos os casos, nota-se que as emissões crescem abaixo do crescimento do PIB. Isto sugere que a economia mesmo sem considerar estimativas de eficiência energética apresenta uma ligeira tendência a se tornar relativamente menos intensiva em carbono. Este resultado se baseia no efeito composição do crescimento: setores “mais limpos” - no sentido do uso menos intenso de combustíveis fósseis – crescem mais que setores “mais sujos”.

A figura 15 apresenta uma comparação entre o crescimento acumulado do PIB e o crescimento das emissões levando em conta as estimativas de eficiência energética.

FIGURA 15 - Resultados Macroeconômicos do Cenário Base: PIB e Emissões (var % acumulada)



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

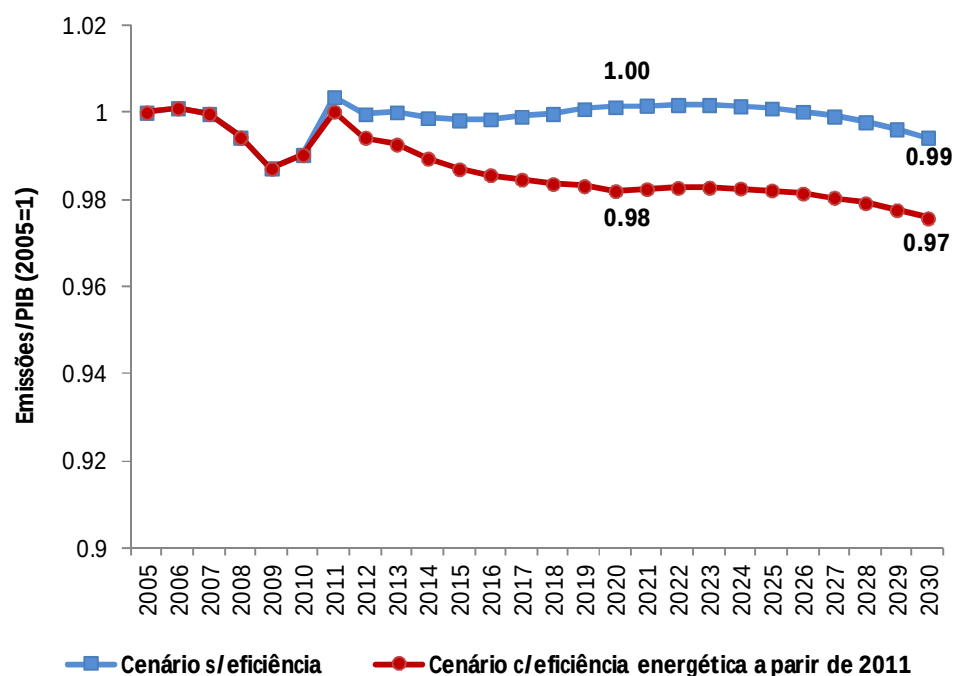
Em magnitude, o PIB apresenta um crescimento acumulado no cenário de 117%, ao passo que as projeções para as emissões considerando o cenário sem eficiência

energética indicam um crescimento de 114% até 2030. No caso do cenário com eficiência energética as emissões crescem 104.5%.

Logo, os resultados apontam que a economia brasileira tende a ser relativamente menos intensiva em carbono e menos emissora de GEE, com o crescimento das emissões abaixo do crescimento do PIB.

A figura 16 mostra a evolução dos coeficientes de emissão (Emissões/PIB, normalizado para 1 em 2005) dos dois cenários especificados. Pela figura, confirma-se uma tendência, ainda que pequena, de queda no coeficiente de emissões em ambos os cenários, porém intensificado quando se considera as estimativas de aumento da eficiência energética.

FIGURA 16 - Evolução dos coeficientes de emissão dos cenários sem estimativas de eficiência energética e com eficiência energética.



Fonte: Elaboração própria com base no resultados do modelo BeGreen.

As projeções das emissões podem ser decompostas entre fontes emissoras a partir da variação acumulada das emissões para o cenário base, que considera as projeções de ganhos de eficiência até 2030, e aquele em que estes choques não são considerados.

A primeira coluna da Tabela 10 apresenta o aumento acumulado das emissões no cenário sem os choques de eficiência energética, enquanto a segunda coluna reporta as variações considerando tais choques. A terceira coluna indica o diferencial entre os dois cenários devido à eficiência.

TABELA 10 - Variação acumulada das emissões no Cenário base (var% acumulada 2011-2030)

Emissores	Emissões (var. % acumulada 2011-2030)		Diferencial devido à eficiência
	Cenário Emissões s/eficiência	Cenário Emissões c/eficiência	
Carvão Metalúrgico	12	-5	-140%
Carvão Mineral	160	125	-22%
Lenha	88	72	-19%
Carvão Vegetal	192	146	-24%
Bagaço de Cana	74	51	-32%
Petróleo e Gás Natural	111	97	-12%
GLP	123	113	-8%
Gasolina	126	111	-12%
Óleo Combustível	106	83	-21%
Óleo Diesel	118	100	-15%
Querosene	112	91	-19%
Coque	41	23	-43%
Outros Refino de Petróleo	126	118	-6%
Álcool	120	90	-25%
Atividade	111	109	-2%
Emissões totais	114.2	104.5	-8%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Um primeiro resultado a se destacar refere-se aos combustíveis que tem variações mais acentuadas no cenário base. Independentemente de se considerar um cenário com ou sem projeções de eficiência, Carvão mineral, Carvão vegetal, Gasolina e Outros Refino de Petróleo são os combustíveis com maiores variações. Estes resultados estão associados ao crescimento mais significativo dos setores ligados à produção ou uso destes insumos energéticos, tais como, Fabricação de aço e derivados, Minério de ferro, Caminhões e ônibus, Automóveis, caminhonetas e utilitários, que pode ser confirmado na tabela 11, que mostra o crescimento médio setorial no cenário base.

Ainda analisando a tabela 10, constata-se que todas as fontes emissores tem queda relativa das emissões (medido pelo diferencial) ao se considerar projeções de eficiência energética, embora a magnitude seja bastante heterogênea. Carvão metalúrgico, por

exemplo, tem queda absoluta das emissões (-5%) com as medidas de eficiência, o que equivale a uma redução de 140% em relação ao cenário em as medidas não são consideradas, em razão, sobretudo, dos choques mais intensos de eficiência. A diminuição do uso deste insumo por unidade de produto, não entanto, não representa um comprometimento da produção do setor de Fabricação de aço e derivados (vide tabela 11), visto que o setor é favorecido pela redução de custos de produção e maior demanda por fatores primários em decorrência do aumento da eficiência energética.

No agregado, comparando os dois cenários, o diferencial é de 8%, notadamente em razão da redução pouco expressiva das emissões ligadas ao nível de atividade produtiva, que representam cerca de 60% do total das emissões avaliadas nesta tese.

TABELA 11 - Crescimento médio anual setorial do Cenário Base.

Setores	Crescimento médio anual da produção (var. %) 2011-2030		Diferencial devido à eficiência
	Cenário Emissões s/eficiência	Cenário Emissões c/eficiência	
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	3.40	3.33	-2.1%
Pecuária e pesca	3.89	3.86	-0.9%
Petróleo e gás natural	4.32	4.09	-5.4%
Minério de ferro	4.93	4.90	-0.6%
Outros da indústria extrativa	4.74	4.64	-2.2%
Alimentos e bebidas	3.85	3.81	-1.1%
Produtos do fumo	3.89	3.83	-1.3%
Têxteis	4.13	4.06	-1.6%
Artigos do vestuário e acessórios	3.73	3.68	-1.4%
Artefatos de couro e calçados	4.99	4.99	0.0%
Produtos de madeira - exclusive móveis	4.57	4.53	-0.8%
Celulose e produtos de papel	4.17	4.12	-1.2%
Jornais, revistas, discos	4.09	4.01	-2.0%
Refino de petróleo e coque	4.21	3.91	-7.0%
Álcool	4.31	4.02	-6.8%
Produtos químicos	4.40	4.31	-2.2%
Fabricação de resina e elastômeros	4.55	4.48	-1.7%
Produtos farmacêuticos	3.70	3.65	-1.3%
Defensivos agrícolas	3.86	3.80	-1.6%
Perfumaria, higiene e limpeza	3.71	3.67	-1.2%
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	4.39	4.35	-0.8%
Produtos e preparados químicos diversos	4.43	4.36	-1.5%
Artigos de borracha e plástico	4.20	4.14	-1.5%
Cimento	4.36	4.34	-0.5%
Outros produtos de minerais não-metálicos	4.62	4.61	-0.3%
Fabricação de aço e derivados	5.69	5.71	0.2%
Metalurgia de metais não-ferrosos	5.03	5.01	-0.5%
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	4.59	4.53	-1.3%
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	4.73	4.66	-1.5%
Eletrodomésticos	4.10	4.07	-0.7%
Máquinas para escritório e equipamentos de informática	4.43	4.43	-0.1%
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	4.50	4.44	-1.3%
Material eletrônico e equipamentos de comunicações	4.49	4.50	0.1%
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	4.48	4.42	-1.2%
Automóveis, camionetas e utilitários	5.08	5.04	-0.7%
Caminhões e ônibus	5.20	5.19	-0.1%
Peças e acessórios para veículos automotores	4.83	4.79	-1.0%
Outros equipamentos de transporte	4.85	4.83	-0.4%
Móveis e produtos das indústrias diversas	4.12	4.08	-1.1%
Geração de eletricidade	5.09	4.85	-4.7%
Transmissão e distribuição de eletricidade	4.77	4.54	-4.7%
Distribuição de gás natural	3.88	3.53	-8.8%
Água, esgoto e limpeza urbana	4.45	4.38	-1.7%
Construção	4.33	4.33	-0.2%
Comércio	4.07	4.01	-1.4%
Transporte, armazenagem e correio	4.03	3.98	-1.2%
Serviços de informação	3.84	3.76	-2.0%
Intermediação financeira e seguros	3.80	3.72	-2.0%
Serviços imobiliários e aluguel	4.08	4.01	-1.7%
Serviços de manutenção e reparação	3.72	3.66	-1.5%
Serviços de alojamento e alimentação	3.41	3.34	-2.0%
Serviços prestados às empresas	3.77	3.67	-2.4%
Educação mercantil	3.55	3.46	-2.5%
Saúde mercantil	3.73	3.67	-1.5%
Outros serviços	3.49	3.43	-2.0%
Educação pública	3.21	3.21	0.0%
Saúde pública	3.21	3.21	0.0%
Administração pública e seguridade social	3.21	3.21	-0.1%
Média de crescimento setorial	4.23	4.16	-1.7%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.2 Resultados da Política de Imposição de Metas de Emissão de GEE

5.2.1 Resultados Macroeconômicos

Nesta seção são analisados os impactos do controle de emissões na economia brasileira. Como já mencionado, os impactos representam a diferença entre as variações obtidas com cenário base e as variações do cenário com a política. Os resultados devem ser lidos, então, como desvios em relação a uma trajetória da economia brasileira (cenário base) na qual a política de metas de emissões não ocorresse.

Deve-se ressaltar que considera-se apenas as emissões derivadas do uso de combustíveis, energia e atividade produtiva dos setores. Desse modo, as restrições incidem apenas sobre esta parcela das emissões, que representam cerca de 40% das emissões totais brasileiras. Os 60% restantes são decorrentes da mudança do uso da terra (desmatamento, conversão de florestas em pastos ou áreas agrícolas, por exemplo).

Para os resultados agregados, que envolvem os custos e efeitos macroeconômicos da política, apresentar-se-á para cada meta de redução (5, 10, 15, 20 e 25%), os impactos sob as diferentes hipóteses (devolução do imposto para as famílias e medidas de abatimento endógeno). Os resultados representam o desvio em relação ao cenário base em 2030, que é o ano que tem sido utilizado como parâmetro para políticas públicas mitigatórias. Como os agregados macroeconômicos apresentam crescimento positivo no cenário base, os resultados negativos de impacto mostrados nas tabelas são reduções relativas a esse cenário e, portanto, não devem ser lidos como uma queda absoluta do PIB, por exemplo.

Cabe mencionar, entretanto, que os resultados não consideram os benefícios associados ao abatimento das emissões, ou seja, redução de possíveis danos causados pelas mudanças climáticas, estimados a partir dos danos sociais marginais, o que caracterizaria uma política ótima do ponto de vista da análise de custo-benefício. Esses benefícios não são considerados, devido à dificuldade e incerteza envolvidas na mensuração dos possíveis impactos que seriam causados pelas mudanças climáticas

(GURGEL, 2012)⁶³. O modelo BeGreen possibilita análises de custo-efetividade das políticas, ou seja, a mensuração dos custos associados a uma determinada meta de redução em emissões.

5.2.1.1 Cenário 1 - Metas de redução de emissões

A Tabela 12 sumariza e compara os principais efeitos agregados do controle de emissões no Brasil para cada meta de redução de emissões. As simulações consideram apenas a imposição de metas atingidas por meio da tributação dos insumos e bens intensivos em carbono.

TABELA 12 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Metas de redução de emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
PIB real	-0.91	-2.57	-4.91	-7.83	-11.29
Consumo das Famílias	-1.83	-4.58	-7.92	-11.59	-15.51
Investimento	-1.68	-4.24	-7.59	-11.58	-16.17
Exportações	-0.11	-0.34	-0.76	-2.83	-5.85
Importações	-2.64	-5.61	-8.35	-10.65	-12.55
Emprego	-0.79	-2.07	-3.77	-5.82	-8.22
Salário real	-6.6	-15.9	-26.7	-37.8	-48.5
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-8.6	-19.7	-31.3	-42.3	-52.0
Rentabilidade da terra	-15.5	-34.3	-53.0	-68.5	-80.0
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	46	117	201	290	380
Relações (var. % indicadores/var.% emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.18	0.26	0.33	0.39	0.45
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.37	0.46	0.53	0.58	0.62
Investimento/Redução de Emissões	0.34	0.42	0.51	0.58	0.65
Exportações/Redução de Emissões	0.02	0.03	0.05	0.14	0.23
Importações/Redução de Emissões	0.53	0.56	0.56	0.53	0.50

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Não é surpreendente a redução do PIB real sob cenários de imposição de metas de emissão. Uma meta de 5%, por exemplo, poderia resultar em um decréscimo acumulado do PIB em relação ao cenário base de -0.91% em 2030 e até -11,29%, se considerarmos uma meta ambiciosa de 25% de redução das emissões de GEE na economia brasileira.

⁶³ O grupo de trabalho IPCC apresenta uma resenha de trabalhos que procuraram estimar os danos marginais sociais. O raio de estimativas varia de \$3 a \$95 dólares por tonelada de CO₂ em uma revisão de 100 estimativas (IPCC, 2007. p.16). Estes custos, segundo o relatório, são subestimados devido a dificuldade de se quantificar muitos impactos.

Cabe lembrar que este resultado representa uma redução relativa ao cenário base em 2030 e, portanto, não deve ser lido como uma queda absoluta do PIB. Em outras palavras, isso significa dizer que o crescimento do PIB passa de 4,00% ao ano de 2011 para cerca de 3,96% em média até 2030, considerando a política de restrição de emissões. No caso de uma redução mais expressiva das emissões (25% de redução), o crescimento do PIB passaria de 4,00% para 3,46% em média até 2030.

Esta queda pode ser conferida aos aumentos dos custos de produção associados ao pagamento de impostos de carbono ou, lido de outra forma, aos aumentos dos custos de abatimento das emissões devido a medidas de redução de emissões impostos aos setores.

A queda do PIB está fortemente associada ao comportamento do consumo das famílias e do investimento. A demanda por bens tem implicações importantes para estes resultados. O consumo das famílias, como visto, diminui sob um cenário de imposto de carbono. Uma razão é o aumento do preço dos bens, dado que um imposto sobre o carbono acrescenta custos adicionais à produção⁶⁴, e os preços tendem a subir na medida em que os produtores repassam o maior custo aos consumidores. As famílias respondem, assim, com um menor consumo. Além disso, os produtores diminuem a produção e o investimento, como resultado do aumento de custos e isso implica menos renda na forma de pagamentos aos fatores primários para as famílias. Com a diminuição da renda, intensifica-se a redução do consumo. Esta queda, entretanto, pode ser parcialmente compensada através de uma devolução de imposto de carbono para famílias, que será analisado com maiores detalhes na próxima seção.

A redução do investimento, por seu turno, está ligada ao aumento de custos dos produtores e consequente redução da produção. Este resultado pode ser relacionado à rentabilidade dos fatores primários, principalmente do capital, que recua, em 8,6% acumulado até 2030 em relação ao cenário base, no caso da meta de 5% de redução de emissões. É razoável ter como efeito uma queda na rentabilidade dos fatores primários, em razão da diminuição na demanda por estes fatores, como decorrência da redução da produção e da atividade econômica⁶⁵. Os efeitos da menor produção e menor demanda por trabalho incidem ainda sobre o salário real e também ajudam explicar a queda do

⁶⁴ Este aumento de custos será retratado nos resultados setoriais.

⁶⁵ A rentabilidade da terra cai mais acentuadamente, devido á hipóteses da simulação de que a oferta de terra é fixa.

emprego⁶⁶, visualizado na tabela 12. Os declínios na rentabilidade dos fatores primários indicam que a incidência do imposto de carbono não é repassado integralmente aos consumidores finais, sendo parcialmente absorvida pelos preços dos fatores.

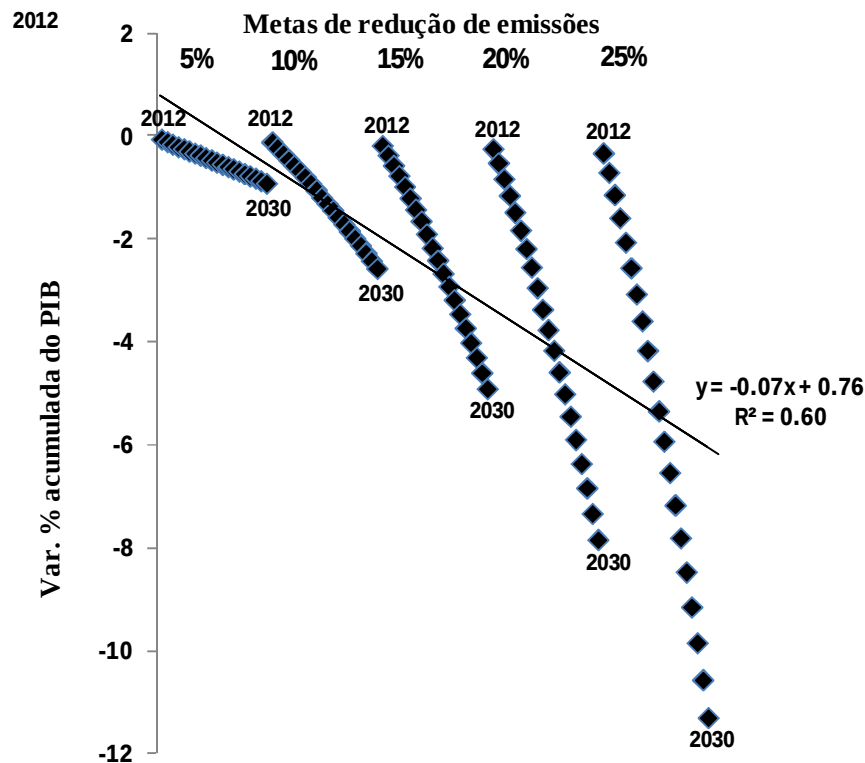
As exportações também apresentam um impacto negativo, embora em menor magnitude se comparada ao consumo e investimento. Sob o cenário de redução de 5% de emissões, por exemplo, o volume total de exportações reduz-se em 0,11%, ao passo que na simulação de 25% a queda se torna mais proeminente, chegando a 5,85%. Esta queda deve-se ao efeito preço. Como um imposto sobre o carbono eleva os custos de produção, as exportações se tornam mais caras e menos atraentes para os consumidores externos (sob a hipótese de país pequeno, as exportações variam inversamente com os preços domésticos). No caso das importações, à primeira vista, pode-se pensar que com o aumento de alguns preços domésticos, e com uma possível apreciação real da moeda brasileira (taxa de cambio nominal é fixa no modelo), as importações seriam beneficiadas. Isto até acontece nos primeiros anos da política, no qual se verifica um ligeiro aumento das importações. Porém, com a queda da atividade econômica ao longo dos anos, ocorre redução de preços domésticos para alguns bens, que conjugado a uma queda simultânea na renda produz uma queda das importações.

Na tabela 12 encontram-se ainda indicadores que medem a relação entre os custos das políticas para cada um dos agregados macroeconômicos e as metas de redução de emissões. A relação PIB/Redução de emissões, por exemplo, indica que a cada meta mais ambiciosa de redução de emissões, há um custo marginal de redução de emissões crescente. Conforme se pode notar este indicador passa de 0,18 para 0,45, no caso de uma meta de 5% e 25% de redução, respectivamente. Este resultado está de acordo com a literatura, pois na medida em que a economia vai se tornando mais “limpa”, é cada vez mais difícil o abatimento de emissões, que implica custos crescentes. Isso pode ser confirmado pelas trajetórias dos custos de redução de emissões, representados pelas figuras 16, 17 e 18. A figura 16 apresenta, para cada uma das metas de redução de emissões, a trajetória da variação (queda) acumulada do PIB em relação ao cenário base, da esquerda para direita iniciando em 2012. Cada ponto representa o custo em termos do PIB a cada ano. É visível que ao se buscar atingir uma meta maior, a

⁶⁶ No modelo, o mercado de trabalho apresenta um elemento de ajuste intertemporal, por meio de uma relação negativa entre emprego e salário real. O aumento de $x\%$ no salário ajusta o nível de emprego em períodos posteriores até convergir para o nível de emprego tendencial.

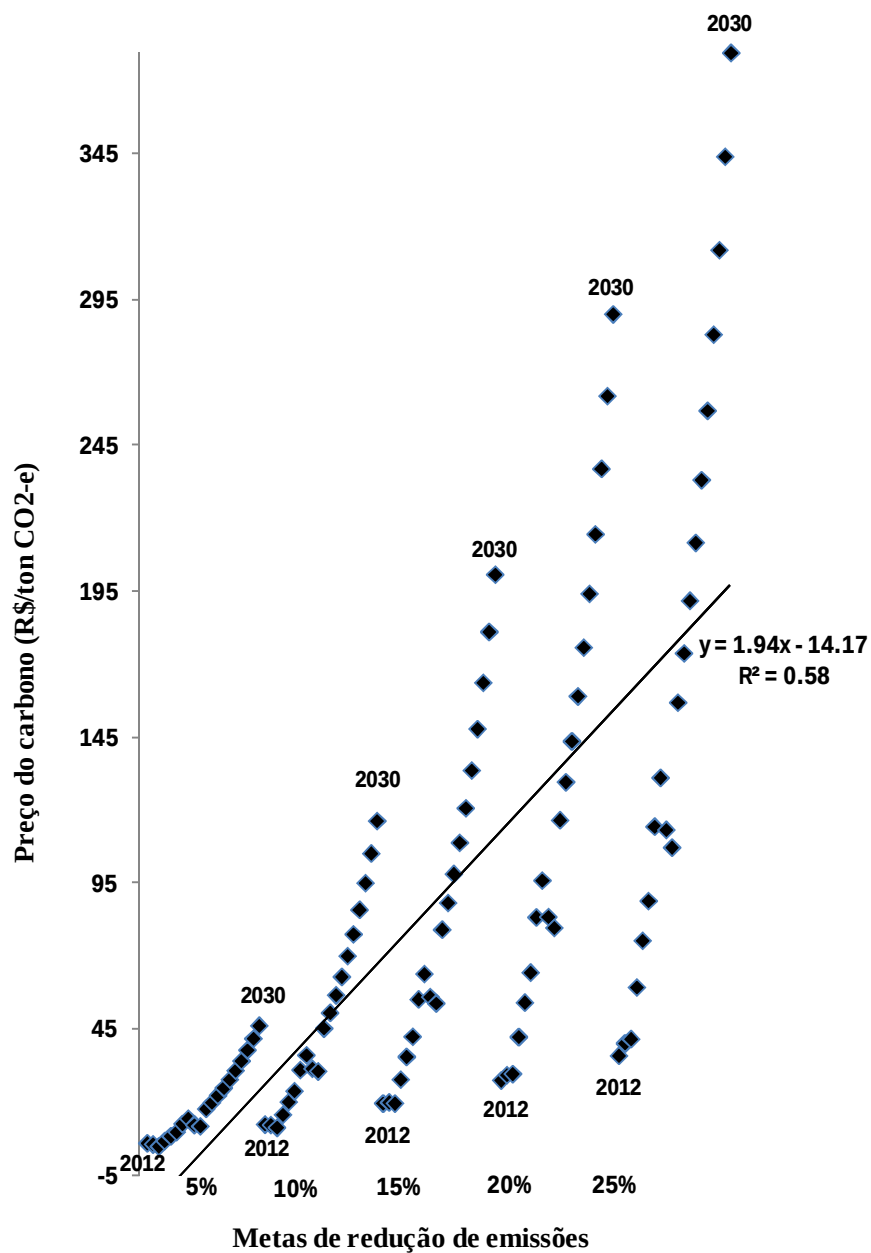
inclinação e distanciamento dos pontos se modificam no sentido de que se torna mais oneroso para a economia atingir metas cada vez mais ambiciosas no mesmo espaço de tempo. As figuras 17 e 18 corroboram este resultado ao retratar a trajetória, ano a ano, dos preços de carbono implícitos em reais por tonelada de CO₂-e para cada meta de emissões. Esta pode ser considerada uma proxy para os custos marginais de emissões da economia. Uma meta progressiva de 5% de redução de emissões até 2030, por exemplo, requer preços de carbono entre R\$ 5/ton CO₂-e a R\$ 46/ ton CO₂-e no final do período. Conforme se pode visualizar tais custos tem uma escalada crescente. Assim, podemos nos voltar para as análises de Stern e Nordhaus. No caso brasileiro, metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos. A estratégia de uma meta ambiciosa em um curto período de tempo imporia um custo muito elevado para a economia brasileira.

FIGURA 16 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões



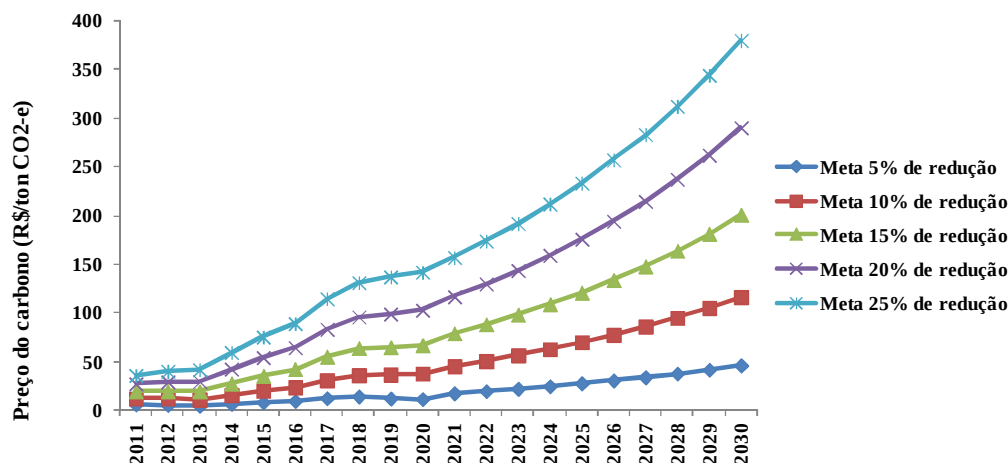
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 17 - Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO2-e)



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 18 - Evolução dos preços de carbono para metas de redução de emissões



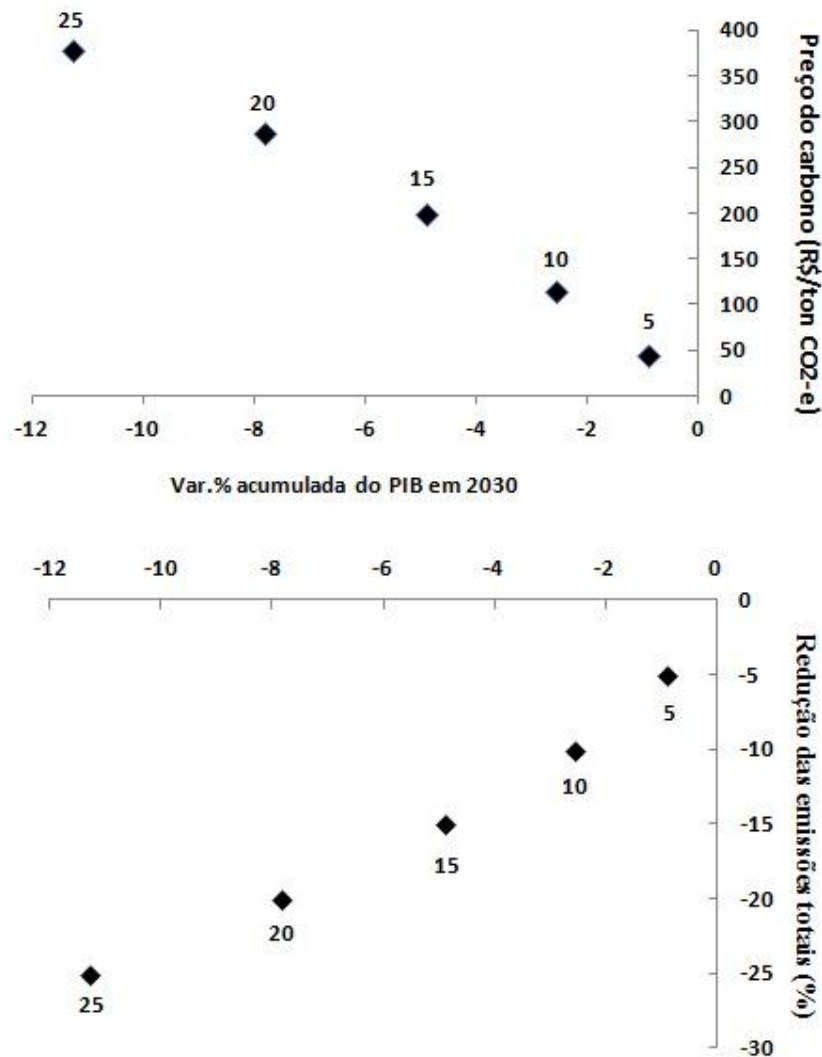
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

Sumarizando estes resultados, a figura 19 destaca a trajetória da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base em 2030, plotada contra os preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões.

Embora estes resultados sugiram uma queda relativa ao cenário base, em comparação a outros estudos não são desprezíveis os custos impostos sobre a economia brasileira com a imposição de restrições de emissões. Este alto custo da política pode ser justificado neste primeiro cenário por quatro motivos principais. O primeiro está relacionado ao próprio objetivo desta tese, que é estimar os custos e a incidência de políticas preço-induzidas ou de melhoria da eficiência energética (políticas de baixo carbono) para a parcela das emissões brasileiras decorrentes do uso de energia e da atividade produtiva, inspirado nas discussões internacionais em curso. Dessa forma, considera-se apenas as emissões derivadas do uso de combustíveis, energia e do nível de atividade dos setores. Não são consideradas as emissões relacionadas à mudança do uso da terra, que se configura como a principal fonte de emissões no Brasil (cerca de 60% das emissões totais). Isto se justifica pelo fato de que as políticas de mitigação desta grande parcela das emissões brasileiras se baseiam no controle do desmatamento, que tem um enfoque de regulação, fiscalização e controle. Se a mitigação destas emissões fosse considerada, através de incentivos econômicos como mecanismos de compensação financeira como REDDs (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal) ou mesmo

políticas de fiscalização, os custos de alcance das metas propostas poderia reduzir-se consideravelmente.

FIGURA 19 - Evolução dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

O segundo motivo para os elevados custos econômicos das metas relaciona-se a própria característica teórica do modelo, que assume retornos constantes de escala e, no caso do módulo ambiental, emissões proporcionais ao nível de atividade dos setores e uso de energia e combustíveis. Uma queda nas emissões é necessariamente acompanhada por certo nível de queda da produção ou atividade. O modelo endogenamente determina os preços de carbono necessários para o alcance das metas, e assim, os cortes de redução de emissões dos setores ou usos de maneira custo-eficiente. Uma diferença que se pode

destacar em relação aos estudos anteriores refere-se à alta desagregação do modelo, implicando maiores interações e interdependências setoriais, que podem intensificar os resultados. A análise de sensibilidade (Anexo 3) mostra que os resultados encontrados por esta tese, considerando a especificação metodológica, são robustos para grande parte das variáveis.

Outra questão a ser levantada é quanto a possibilidade de um mercado de carbono entre os setores. Os preços de carbono, ou preços sombra endogenamente determinados pelas simulações representariam os preços iniciais das licenças negociáveis de emissões, se a implementação de um mercado de carbono fosse considerada. A partir da alocação inicial, os agentes passariam a transacionar estas licenças, de modo que emissores com maiores custos de abatimento teriam preferência por comprar algum tipo de permissão de emissão do que propriamente realizar o abatimento das emissões e vice-versa. Isto potencialmente reduziria os custos inerentes à política, dado sua maior eficiência.

E por fim, os resultados desta seção não consideram a existência de nenhum tipo de mudança tecnológica ou cenários alternativos que possam reduzir as emissões dos setores ou compensar os indivíduos afetados pelas metas de emissões. A única possibilidade, neste primeiro cenário, é a substituição de insumos energéticos via mudança de preços relativos.

Para lidar com estas questões e ampliar o raio de resultados possíveis, as duas próximas seções tratam da possibilidade de devolução pelo governo de parte da receita arrecadada com o imposto de carbono; e também um cenário de mudança tecnológica endógena.

5.2.1.2 Cenário 2: Metas de redução de emissões com a devolução da receita da tributação para as famílias

Pode-se supor que, para o alcance das metas de redução de emissões, o governo efetivamente introduza um imposto de carbono sobre as fontes emissoras de GEEs, Simulou-se, nesta seção, os impactos das metas com a devolução da receita arrecadada com a tributação para as famílias. Este cenário, conforme visto no capítulo 1 é amplamente discutido na literatura como abordagens neutras para a formulação de políticas tributárias, com o intuito de minimizar os efeitos adversos da política sobre a

economia. Na literatura, há várias possibilidades de devolução do imposto coletado, tais como, transferência *lump-sum*, compensação na renda, dentre outros. No caso específico desta simulação, optou-se por se considerar que parte da arrecadação seria devolvida sob a forma de subsídio ao consumo, hipótese esta considerada mais plausível, dado que já tem sido praticado pelo governo brasileiro nos últimos anos em razão da conjuntura de crise internacional. Além disso, parte significativa dos preços de combustíveis e energia pode ser controlada pelo governo federal. Outro ponto a ressaltar é que se assume que apenas o montante da tributação direta que recai sobre o consumo das famílias seria devolvido sob a forma de subsídio. De acordo com a base de dados de emissões do modelo, o total emitido pelo uso de combustíveis e energia do setor residencial equivale a 5% das emissões totais. O valor devolvido, portanto, equivale ao montante arrecadado sobre estas emissões.

Tendo em vista estes aspectos, a tabela 13 apresenta os impactos agregados de metas de redução adicionando-se a este cenário a hipótese de devolução do imposto às famílias.

TABELA 13 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia com devolução do imposto às famílias via subsídio ao consumo.
(var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Metas de redução das emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
PIB real	-0.82	-2.34	-4.52	-7.28	-10.59
Consumo das Famílias	-1.51	-3.80	-6.62	-9.80	-13.26
Investimento	-1.57	-3.95	-7.08	-10.82	-15.13
Exportações	-0.33	-0.98	-2.35	-5.03	-8.59
Importações	-2.20	-4.60	-6.69	-8.32	-9.56
Emprego	-0.70	-1.84	-3.34	-5.17	-7.30
Salário real	-6.0	-14.6	-24.6	-35.0	-45.3
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-7.8	-18.1	-28.9	-39.1	-48.4
Rentabilidade da terra	-15.0	-33.4	-51.9	-67.3	-79.0
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	47	118	206	300	398
Relações (var.% indicadores/var.% emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.16	0.23	0.30	0.36	0.42
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.30	0.38	0.44	0.49	0.53
Investimento/Redução de Emissões	0.31	0.40	0.47	0.54	0.61
Exportações/Redução de Emissões	0.07	0.10	0.16	0.25	0.34
Importações/Redução de Emissões	0.44	0.46	0.45	0.42	0.38

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

A redistribuição do imposto na forma de subsídio sobre o consumo, em relação ao cenário discutido na seção anterior, minimiza a queda da demanda das famílias

(-1.51%), principal componente responsável pelo impacto sobre o PIB. Com a devolução, o PIB passa de -0,91% no cenário 1 para -0,82%, diminuindo assim, o efeito sobre o PIB real.

Com a compensação, as famílias tendem a gastar este adicional na renda disponível em bens, reduzindo a queda no consumo verificada anteriormente no cenário 1. Este consumo adicional, por sua vez, é direcionado em uma proporção maior para bens onde a parcela de luxo no gasto é maior⁶⁷, cuja produção é, em geral, mais capital-intensiva. Dessa forma, comparado com o cenário 1, em que não há devolução, a demanda por capital tem um decréscimo menor, e assim também sua rentabilidade, o que tem implicações como a queda menos intensa do investimento. O maior incentivo ao consumo também minimiza os efeitos sobre o emprego e salário real.

As exportações, por outro lado, tem uma queda mais acentuada se comparado à simulação de imposição de metas apenas. A compensação possibilita um aumento relativo do consumo das famílias, o que provoca um aumento dos preços domésticos. Como consequência, as exportações brasileiras tornam-se menos competitivas no exterior, acentuando sua queda.

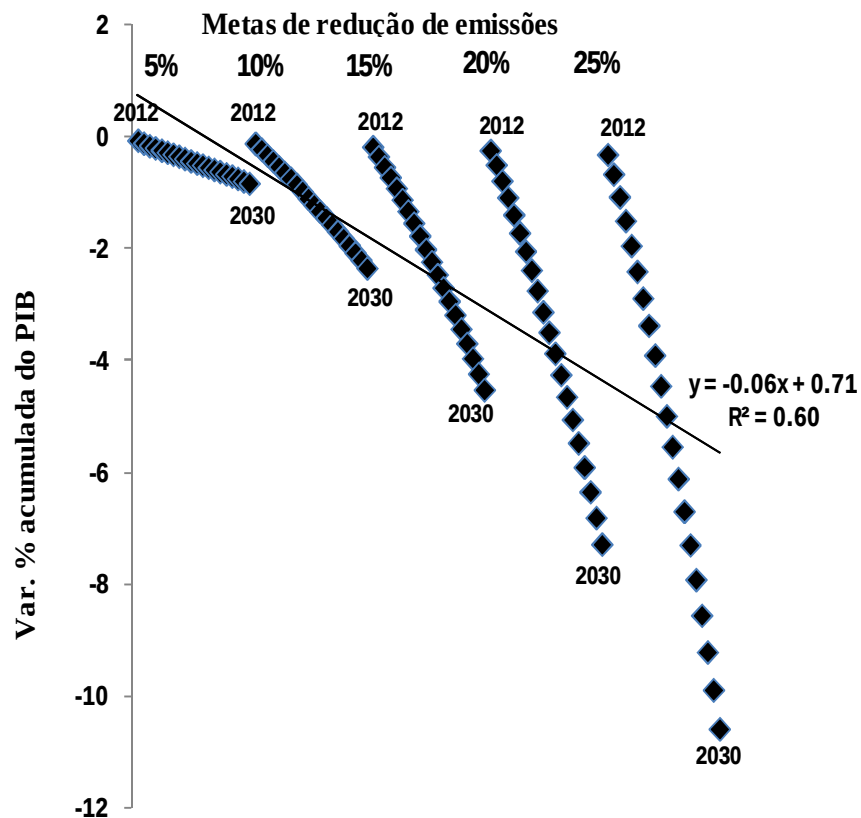
A relação Queda do PIB/Redução de Emissões, continua crescente com as metas, mas recua ligeiramente em relação ao Cenário 1. Porém, deve-se lembrar que o montante de devolução das receitas com o imposto de carbono refere-se apenas à arrecadação proveniente do consumo das famílias (correspondente a 5% do total da receita arrecadada com o imposto). Se uma política for planejada de modo a aumentar este percentual, os impactos sobre o PIB seriam bem menos intensos para metas de redução de emissões menores. Logo, a compensação via consumo tem impactos potenciais sobre a minimização dos efeitos negativos da imposição de um imposto de carbono sobre as fontes emissoras.

De maneira semelhante à seção anterior, as figuras 20 e 21 ilustram os custos em termos da queda do PIB e os preços (taxas) de carbono, para cada uma das metas de redução de emissões, ano a ano. A diferença em relação ao cenário 1 é que para o alcance da meta com devolução da arrecadação, é necessário um preço de carbono mais elevado (confirma-se esta diferença pelas tabelas 12 e 13, no qual os preços de carbono em

⁶⁷ Isto está relacionado com o comportamento do consumo descrito por um sistema linear de gasto (LES) do modelo

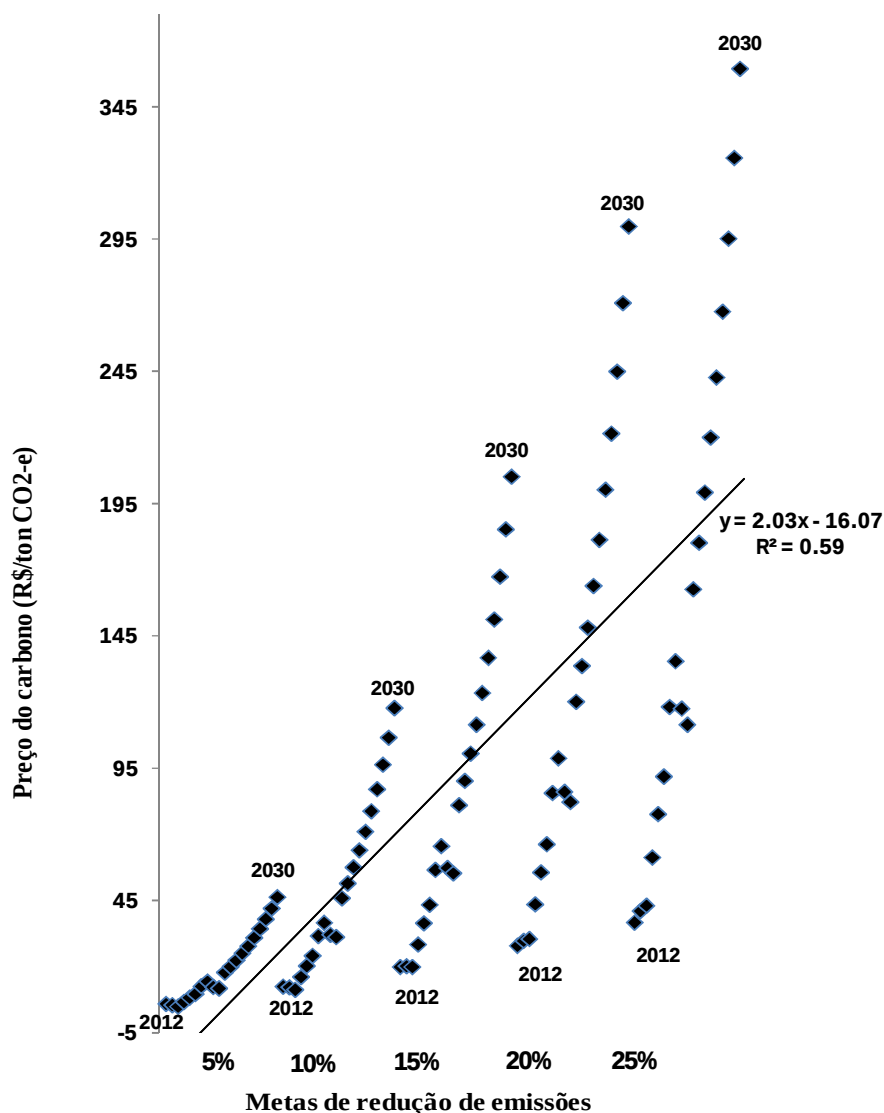
2030, para os cenários 1 e 2 são R\$380/ton CO₂-e e R\$398/ton CO₂-e, respectivamente, para uma meta de 25%). Isso decorre do fato de que a devolução incentiva o consumo, que em certa proporção, tem bens intensivos em carbono.

FIGURA 20 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 21 - Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO₂-e)

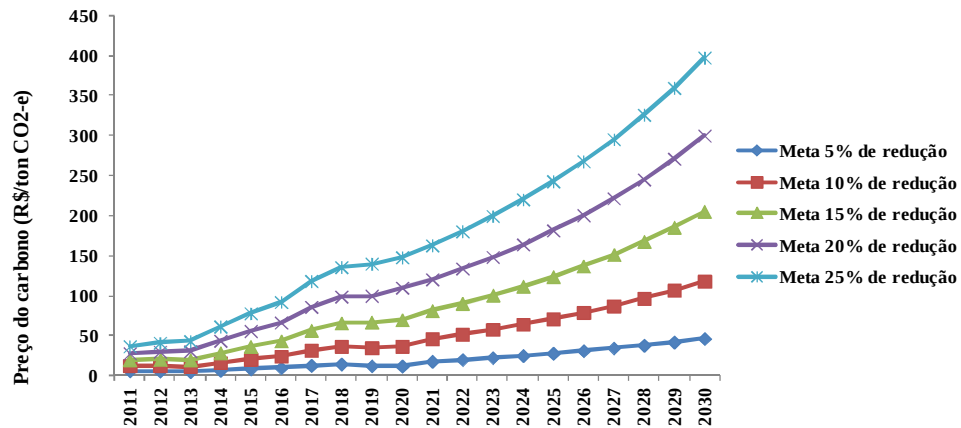


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

A evolução dos preços de carbono (figura 22) confirma a trajetória crescente dos custos de redução de emissões. Os preços de carbono para uma meta de redução de 5% variam de R\$6/ton CO₂-e em 2011 a R\$47/ton CO₂-e em 2030. Em termos ilustrativos, um imposto de carbono, de acordo com a emissão de CO₂-e de cada produto, R\$50/ton CO₂-e, em 2030, sobre a gasolina equivaleria a R\$0,1825 de imposto por litro de gasolina e o mesmo imposto específico sobre o diesel corresponderia a R\$0,2005 por litro. Para finalizar, a figura 23 compara as trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base em 2030 e dos preços de carbono necessários para o alcance das

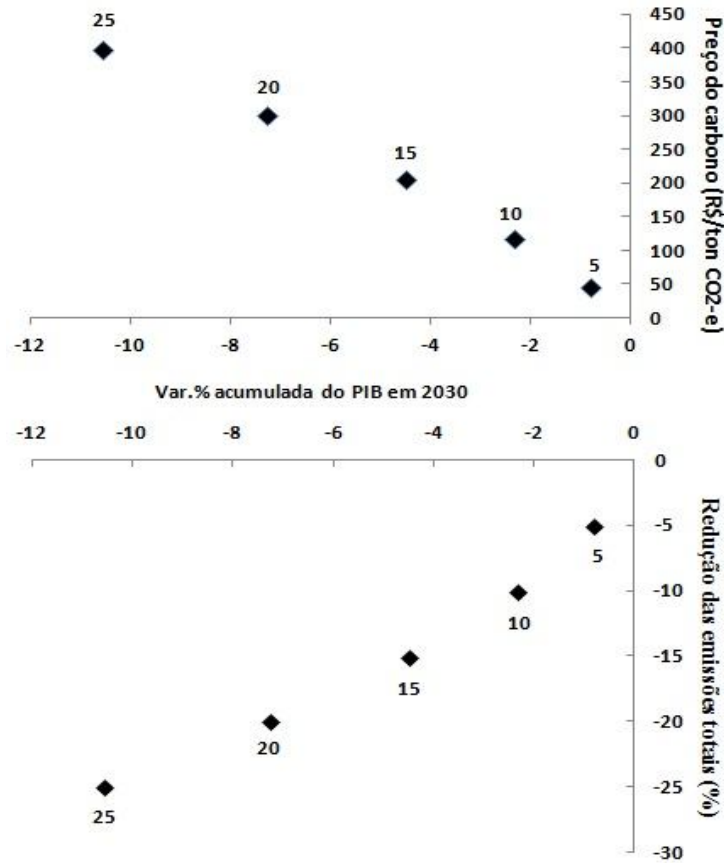
metas de redução de emissões. Estes resultados são qualitativamente semelhantes aos da seção anterior.

FIGURA 22 - Evolução dos preços de carbono para metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 23 - Evolução dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

5.2.1.3 Cenário 3: Metas de redução de emissões via tributação, devolução para as famílias e abatimento de emissões

Nos dois primeiros cenários discutidos não se leva em conta nenhum tipo de mudança tecnológica. Esta hipótese, contudo, pode não ser realista em cenários de longo prazo (FERREIRA FILHO e ROCHA, 2007). Para responder a esta possibilidade, o cenário apresentado nesta seção considera que a introdução de uma taxa de carbono causa uma reação por parte dos setores e firmas com relação à tecnologia utilizada na produção, fazendo com que haja um incentivo à adoção de tecnologias que reduzam as emissões não associadas ao consumo de combustível. Esta mudança é modelada como sendo diretamente proporcional ao imposto de carbono, através de uma constante de proporcionalidade (parâmetro). Não há estimativas para o valor deste parâmetro para a economia brasileira. Todavia, conforme já relatado anteriormente, utilizar-se-á valores conservadores de forma ilustrativa. Assume-se que valores acima de R\$100 de imposto por tonelada de CO₂ equivalente causam uma redução de 10% nas emissões associadas ao nível de atividade dos setores.

Nesta seção descrevem-se os resultados do cenário que leva em consideração tanto a devolução da arrecadação sob a forma de subsídio às famílias, quanto estas mudanças tecnológicas. A tabela 14, dessa forma, apresenta os impactos de metas de redução de emissões sob este cenário como desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030.

A pressuposição adicional de abatimento de emissões nos setores produtivos tem um impacto importante de minimização dos custos em termos do PIB real, que recua -0,45% acumulado em relação ao cenário base em 2030. Como já mencionado, isso denota que o crescimento do PIB entre 2011 e 2030 passa de 4,00% ao ano (cenário base) para cerca de 3,98% ao ano considerando a política de restrição de emissões de 5%. No caso de uma redução mais expressiva das emissões (25% de redução), o crescimento do PIB passaria de 4,00% para 3,78% ao ano até 2030. O investimento na adoção de tecnologias menos poluentes pelos setores tende a potencializar a redução das emissões, e consequentemente, reduzir o custo marginal de mitigação de emissões.

TABELA 14 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia com devolução do imposto às famílias e abatimento de emissões pelos setores. (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Metas de redução das emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
PIB real	-0.45	-1.15	-2.07	-3.21	-4.57
Consumo das Famílias	-0.94	-2.18	-3.66	-5.29	-7.08
Investimento	-1.06	-2.47	-4.21	-6.22	-8.51
Exportações	0.22	0.25	0.01	-0.58	-1.53
Importações	-1.59	-3.31	-5.03	-6.63	-8.08
Emprego	-0.33	-0.75	-1.24	-1.80	-2.46
Salário real	-4.1	-9.3	-15.2	-21.6	-28.2
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-5.2	-11.4	-18.1	-24.7	-31.2
Rentabilidade da terra	-10.0	-20.8	-32.0	-42.8	-52.9
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	24	55	91	132	177
Relações (var.% indicadores/var.% emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.19	0.22	0.24	0.26	0.28
Investimento/Redução de Emissões	0.21	0.25	0.28	0.31	0.34
Exportações/Redução de Emissões	-0.04	-0.03	0.00	0.03	0.06
Importações/Redução de Emissões	0.32	0.33	0.34	0.33	0.32

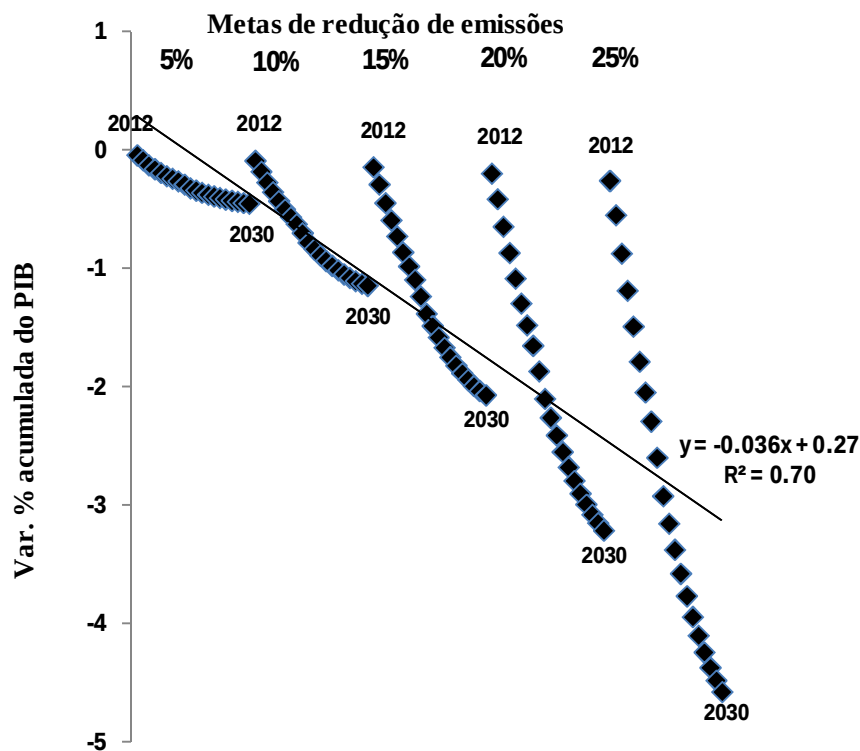
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

Este é um ponto fundamental a ser destacado nos resultados. Metas de redução de emissões, por meio de mecanismos de mercado como a introdução de um imposto de carbono e ancorada por políticas que facilitem a mudança tecnológica nos setores com emissões mais relevantes, pode se configurar como uma alternativa custo-eficiente de uma política de mitigação de GEE na economia brasileira.

Analisando os resultados da tabela 14, verifica-se que, em linhas gerais, o consumo das famílias, investimento e exportações tem um melhor desempenho (menores quedas) se comparado aos cenários 1 e 2, onde não se considera a hipótese de abatimento. Estes resultados são justificados pelo fato de que a introdução de mudança tecnológica altera os custos de redução de emissões para o alcance das metas. Neste caso, os setores emissores pela atividade produtiva conseguem reduzir mais efetivamente as emissões a um menor custo, evitando o pagamento do imposto. Este custo repercute sobre os custos de produção setoriais, agora menos intensos que os projetados nos cenários 1 e 2. Isto tem consequências como a menor redução do consumo das famílias, investimento e exportações.

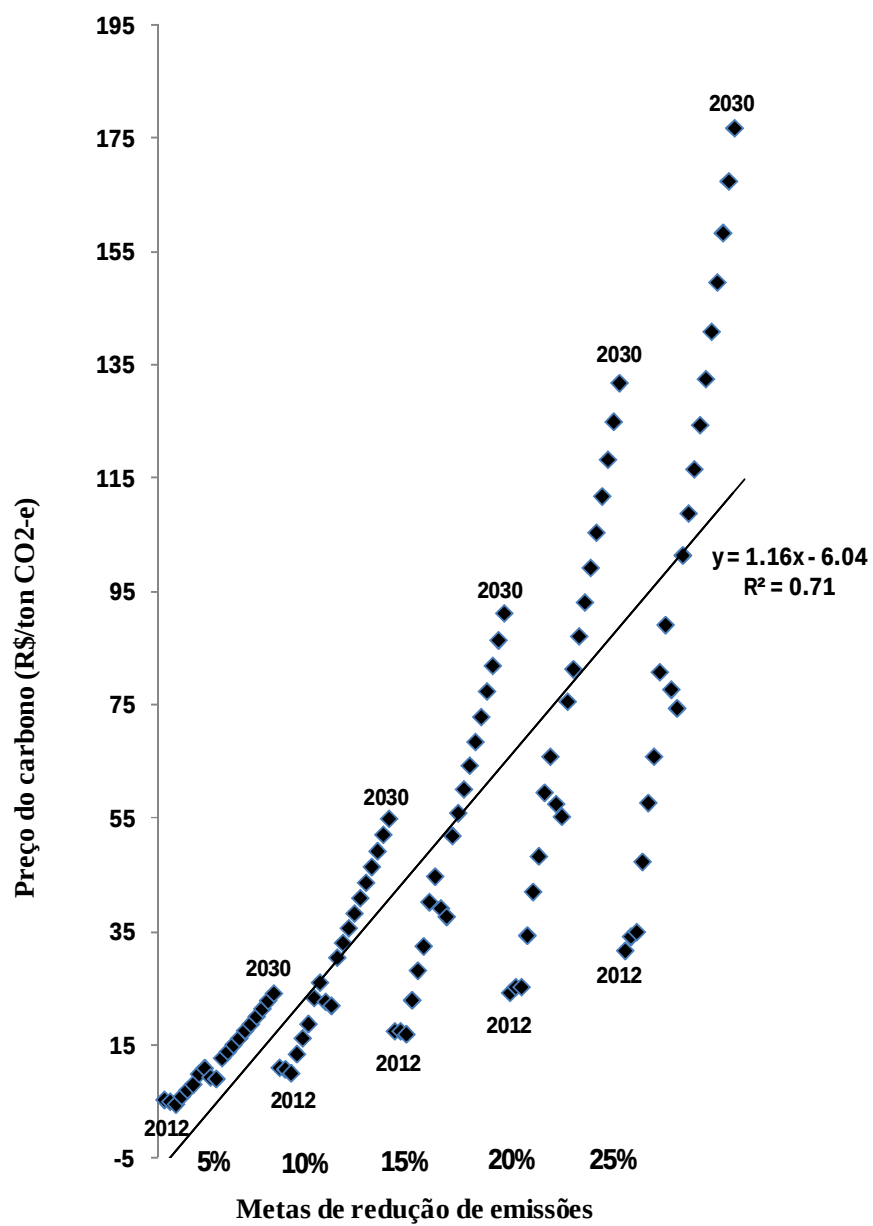
De forma similar, as figuras 24, 25 e 26 ilustram as trajetórias da variação acumulada do PIB e dos preços de carbono. Conforme pode ser visualizado nas figuras e confirmado na tabela 14 para 2030, são menores os preços de carbono necessários para atingir as metas de redução de emissões, uma vez que é possível alcançar certa redução de emissões a partir da mudança tecnológica. Um resultado interessante neste cenário é que não valem as mesmas conclusões dos casos anteriores quanto ao custo marginal crescente de metas maiores. Pela figura 27, que mostra a evolução dos preços de carbono, é possível observar, grosso modo, custos marginais constantes, devido ao menor esforço para o abatimento de emissões com a possibilidade de mudança tecnológica.

FIGURA 24 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões



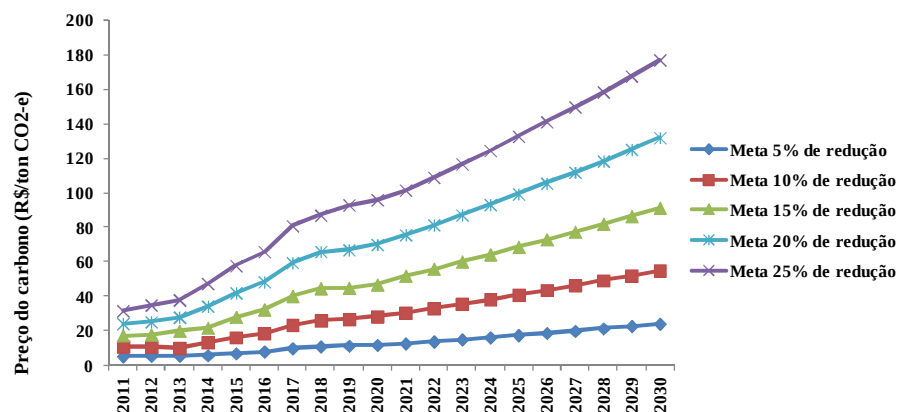
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 25 - Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO2-e)



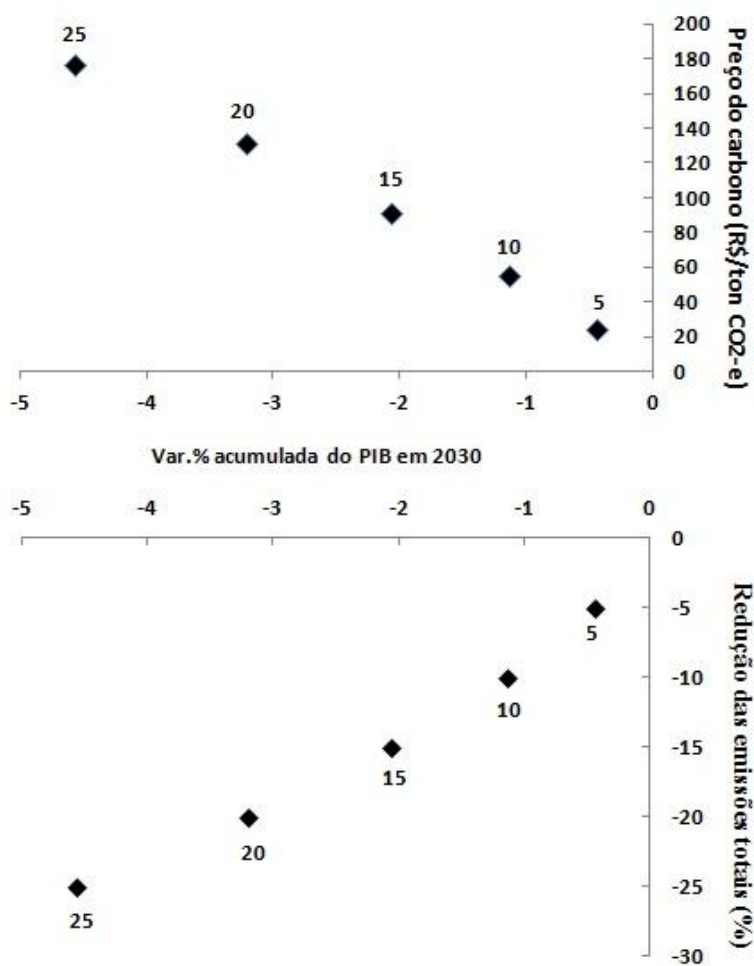
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 26 - Evolução dos preços de carbono para metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 27 - Evolução dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

A hipótese de abatimento de emissões para se tornar mais possível na realidade, pode ser acompanhado de incentivos como linhas de crédito, políticas tecnológicas e científicas específicas, que encorajem a adoção de práticas ou tecnologias mais “limpas”. Pelos resultados obtidos, o custo da redução das emissões praticamente se reduz a metade (em pontos percentuais), evidenciando a importância do processo de mudança tecnológica na redução de emissões de GEE na economia brasileira.

5.2.2 Resultados Setoriais

O principal efeito de uma imposição de restrições de emissões é o aumento dos custos dos bens energéticos intensivos em carbono e dos bens produzidos pelos setores emissores, deslocando as curvas de custo marginal para cima. Intuitivamente, a extensão deste efeito vai variar conforme a participação de bens energéticos na produção, implicando que os grandes usuários de energia e combustíveis sentirão mais intensamente os efeitos. O mesmo pode ser dito com relação aos bens produzidos pelos setores produtivos emissores, como os bens agropecuários, por exemplo. O encadeamento e interdependência dos diversos setores na economia, refletidos no uso de insumos no processo de produção é um elemento determinante na elucidação dos impactos setoriais. Embora a estrutura produtiva setorial seja crucial para os resultados, é apenas o ponto de partida para entender o efeito do imposto sobre a economia. Outro fator importante é o grau de possibilidade de substituição entre as diversas fontes de energia (renováveis, não renováveis) e uso de combustíveis. Este fator influencia a magnitude sobre a qual o aumento dos custos dos produtos intensivos em carbono é repassado para os custos de produção setoriais. Somam-se ainda, os efeitos ocasionados pelo deslocamento de fatores produtivos que influenciam o desempenho setorial.

Um dos efeitos observados nos resultados é o aumento dos custos dos setores com grande participação de bens energéticos na produção. Conforme já mencionado anteriormente, alguns indicadores setoriais podem auxiliar no entendimento dos impactos diretos de metas de emissões. As Tabelas, a seguir, apresentam um conjunto destes indicadores para 2005 (ano base do modelo) que contêm informações sobre a

participação dos bens intensivos em carbono sobre a produção, a composição de fatores primários dos setores e a participação setorial nos componentes da demanda final⁶⁸.

⁶⁸ Cabe lembrar que os setores de Fabricação de aço e derivados e Geração de Eletricidade apresentam uma especificação teórica e base de dados diferenciada, por discriminar não apenas insumos energéticos, mas tecnologias de produção. Mais a frente, serão analisados separadamente os resultados, com a apreciação do banco de dados para estes setores. Nas tabelas seguintes, portanto, são participações e composições gerais destes setores, mas compatíveis com as que serão apresentadas quando da análise dos resultados.

TABELA 15 - Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005

(% do custo de produção dos setores)

Setores	Bens Energéticos																						
	Lenha	Carvão Vegetal	Petróleo	Gás Natural	Carvão Metalúrgico	Carvão Mineral	Bagaço de Cana	GLP	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Querosene	Coque	Outros Refino de Petróleo	Álcool	Urânio	Energia Hidráulica Pública	Energia Hidráulica Auto Geração	Energia Térmica Pública	Energia Térmica Auto Geração	Energia Eólica Pública	Distribuição de energia elétrica	Distribuição de gás natural
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	65.8	-	-	-	-	-	-	5.2	0.6	-	8.8	-	-	1.3	0.8	-	-	5.1	-	-	-	0.7	-
Pecuária e pesca	1.5	-	-	-	-	-	-	10.1	0.5	2.2	3.9	-	-	0.2	0.4	-	-	4.1	-	-	-	0.5	-
Petróleo e gás natural	-	-	-	34.4	-	-	-	-	-	0.4	3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	9.3	-	3.7	-
Minério de ferro	-	-	-	-	6.0	9.6	-	-	-	13.0	1.4	-	2.2	0.1	-	-	-	8.2	-	1.0	-	0.9	1.6
Outros da indústria extrativa	-	-	-	-	-	11.7	-	-	-	2.4	1.5	-	1.0	-	0.3	-	-	5.4	-	0.6	-	0.6	1.1
Alimentos e bebidas	10.3	0.5	-	-	-	-	70.6	40.6	1.1	13.9	2.4	0.1	-	0.6	0.2	-	-	1.0	-	34.1	-	6.4	5.4
Produtos do fumo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.1
Têxteis	0.4	-	-	-	-	-	-	-	0.2	2.2	0.6	-	-	0.1	0.2	-	-	1.2	-	0.6	-	1.9	3.2
Artigos do vestuário e acessórios	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.5	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-	-	0.1	-	0.5	0.5
Artefatos de couro e calçados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.5	0.5
Produtos de madeira - exclusive móveis	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	0.8	-	-	0.3	-	-	-	-	-	0.1	-	0.7	0.6
Celulose e produtos de papel	5.5	0.1	-	-	-	6.7	0.2	-	1.0	1.8	0.1	0.1	-	0.7	0.1	-	-	7.4	-	19.9	-	2.6	5.5
Jornais, revistas, discos	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	0.1	-	0.5	0.5
Refino de petróleo e coque	-	-	100.0	9.0	-	-	-	-	59.0	-	0.3	-	-	0.7	42.6	-	-	-	-	4.2	-	1.7	0.1
Álcool	-	-	-	-	-	14.3	-	-	0.1	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-	0.2	-	1.0	-	0.2	-
Produtos químicos	2.2	-	-	0.9	-	8.4	-	-	-	7.5	0.2	6.2	-	56.4	2.1	-	-	0.2	-	4.3	-	4.0	9.0
Fabricação de resina e elastômeros	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.9	0.1	0.2	-	1.9	0.1	-	-	0.1	-	1.8	-	1.7	3.9
Produtos farmacêuticos	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.1	-	-	0.1	3.4	-	-	-	-	0.6	-	0.6	1.3
Defensivos agrícolas	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	9.3	-	-	-	-	0.3	-	0.3	0.6
Perfumaria, higiene e limpeza	0.1	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	6.6	-	-	-	-	0.3	-	0.3	0.6
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	-	-	-	-	-	-	-	0.8	0.2	-	0.1	0.1	-	1.0	1.7	-	-	-	-	0.3	-	0.3	0.7
Produtos e preparados químicos diversos	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	0.3	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	0.9	-	0.8	1.9
Artigos de borracha e plástico	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	3.9	0.8	0.3	-	3.1	0.1	-	-	0.1	-	1.9	-	1.8	4.0
Cimento	-	-	-	-	-	5.5	-	-	-	2.2	0.2	0.2	19.8	0.5	-	-	-	12.7	-	-	-	0.7	0.2
Outros produtos de minerais não-metálicos	9.8	4.3	-	-	-	0.2	-	10.8	0.3	4.3	0.3	0.2	-	2.5	-	-	-	0.1	-	0.2	-	2.5	8.4
Fabricação de aço e derivados	-	84.3	-	-	94.0	-	-	-	-	4.0	0.2	0.6	71.2	1.1	-	-	-	10.5	-	15.0	-	5.1	11.3

Fonte: Base de dados do modelo BeGreen.

TABELA 16 - Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005 (continuação)

(% dos custos de produção dos setores)

Setores (continuação)	Bens Energéticos																						
	Lenha	Carvão Vegetal	Petróleo	Gás Natural	Carão Metalúrgico	Carvão Mineral	Bagaço de Cana	GLP	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Querosene	Coque	Outros Refino de Petróleo	Álcool	Urânio	Energia Hidráulica Pública	Energia Hidráulica Auto Geração	Energia Térmica Pública	Energia Térmica Auto Geração	Energia Elétrica Pública	Distribuição de energia elétrica	Distribuição de gás natural
Metallurgia de metais não-ferrosos	-	0.1	-	-	-	-	-	-	0.2	3.9	0.5	0.1	5.5	0.7	-	-	-	41.4	-	0.7	-	3.1	5.0
Produtos de metal	0.1	10.0	-	-	-	-	-	-	-	2.3	-	0.1	0.2	0.6	-	-	-	0.8	-	-	-	1.9	-
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	2.2	0.5	0.2	-	2.4	-	-	-	-	-	0.2	-	1.4	-
Eletrodomésticos	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2
Máquinas para escritório e eq. de informática	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.9	0.4	0.5	-	4.7	-	-	-	-	-	0.2	-	1.2	1.1
Material eletrônico e eq. de comunicações	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	0.1	1.6	-	-	-	0.3	-	-	-	-	0.1	-	0.6	0.7
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.2
Automóveis, camionetas e utilitários	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.5	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	1.1	1.0
Caminhões e ônibus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.4	0.4
Pecas e acessórios para veículos automotores	0.3	-	-	-	-	0.6	-	-	0.1	4.5	0.3	0.1	-	0.6	-	-	-	0.1	-	0.3	-	1.6	1.4
Outros equipamentos de transporte	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.6	1.0	0.1	-	1.1	-	-	-	-	-	0.1	-	0.6	0.5
Móveis e produtos das indústrias diversas	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	0.1	0.1	-	0.6	-	-	-	-	-	0.1	-	0.7	0.6
Geração de eletricidade	-	-	-	-	-	56.6	14.9	-	1.1	9.9	3.4	-	-	-	-	100.0	-	0.1	-	-	-	2.9	18.0
Transmissão e distribuição de eletricidade	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	0.2	-	-	-	-	-	100.0	-	100.0	-	100.0	3.4	0.4
Distribuição de gás natural	-	-	-	55.6	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
Água, esgoto e limpeza urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	0.3
Construção	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	4.8	0.2	-	2.0	0.1	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4
Comércio	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	-	5.9	-	-	1.5	20.5	-	-	0.1	-	0.4	-	7.7	1.5
Transporte, armazenagem e correio	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	8.8	49.2	90.8	-	12.5	2.5	-	-	0.6	-	-	-	2.1	1.2
Serviços de informação	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	3.2	0.2
Intermediação financeira e seguros	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	1.6	0.3
Serviços imobiliários e aluguel	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.2	-	-	0.1	1.5	-	-	-	-	-	-	0.3	0.1
Serviços de manutenção e reparação	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
Serviços de alojamento e alimentação	0.1	0.5	-	-	-	-	-	17.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	1.8	0.1
Serviços prestados às empresas	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	1.8	0.2
Educação mercantil	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.2
Saúde mercantil	-	-	-	-	-	-	-	10.7	1.5	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	0.1	-	2.0	0.4
Outros serviços	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	-	0.5	-	-	0.5	-	-	-	0.1	-	0.4	-	7.7	0.6
Educação pública	-	-	-	-	-	-	-	1.1	0.1	-	-	-	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	-	1.5	0.1
Saúde pública	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.2	-	0.1	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.7	0.1
Administração pública e seguridade social	-	-	-	-	-	-	-	3.1	12.0	-	1.1	-	-	1.1	6.1	-	-	0.5	-	0.2	-	6.2	2.5
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Base de dados do modelo BeGreen.

TABELA 17 - Participação dos bens energéticos no uso de insumos dos setores intensivos em energia – 2005

Bens Energéticos	Setores intensivos em energia															
	Agricultura	Petróleo e Gás Natural	Minério de ferro	Outras Indústrias Extrativas	Alimentos e bebidas	Refino de Petróleo	Álcool	Produtos Químicos	Fabricação de Aço e derivados	Metais não ferrosos	Máquinas e equipamentos	Máquinas elétricas	Geração de eletricidade	Transmissão e Distribuição de energia	Gás Natural	Transporte, armazenamento e correios
Lenha	1.4	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carvão Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	-	-	-	-	-
Petróleo	-	-	-	-	-	69.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gás Natural	-	7.4	-	-	-	0.7	-	0.2	-	-	-	-	-	-	79.2	-
Carão Metalúrgico	-	-	2.1	-	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	-	-	-
Carvão Mineral	-	-	0.7	1.6	-	-	-	0.2	-	-	-	-	4.1	-	-	-
Bagço de Cana	-	-	-	-	0.7	-	4.2	-	-	-	-	-	2.5	-	-	-
GLP	0.1	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gasolina	0.4	-	-	-	0.2	15.0	0.2	-	-	0.4	0.2	0.2	2.4	0.9	0.8	1.7
Óleo Combustível	-	0.1	5.7	2.0	0.4	-	0.8	0.9	0.4	1.3	0.3	0.3	4.6	-	-	0.6
Óleo Diesel	7.8	3.2	4.4	9.1	0.5	0.1	1.2	0.2	0.1	1.3	0.5	0.7	11.4	0.2	0.2	25.0
Querosene	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	0.1	-	-	-	4.3
Coque	-	-	0.2	0.2	-	-	-	-	1.9	0.4	-	-	-	-	-	-
Outros Refino de Petróleo	0.6	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	27.2	0.5	0.9	1.3	5.5	-	-	-	3.5
Álcool	0.2	-	-	0.4	-	4.4	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	0.4
Urânio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-	-
Energia Hidráulica Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61.3	-	-
Energia Hidráulica Auto Geração	0.1	-	0.8	1.0	-	-	-	-	0.3	3.2	-	-	-	-	-	-
Energia Térmica Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.6	-	-
Energia Térmica Auto Geração	-	0.7	0.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.3	0.9	0.1	-	-	-	-	-	-
Energia Eólica Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Distribuição de energia elétrica	0.7	4.2	3.3	4.2	1.5	0.7	1.4	3.9	4.6	8.5	1.6	2.8	11.1	4.0	3.5	1.2
Distribuição de gás natural	-	-	0.9	1.1	0.2	-	-	1.3	1.5	2.1	0.2	0.4	10.4	0.1	0.1	0.1
Total dos insumos energéticos	11.3	15.6	18.4	20.0	4.4	90.6	8.2	35.2	20.8	18.2	4.1	10.0	47.9	81.1	83.8	36.8
Demais insumos intermediários	88.7	84.4	81.6	80.0	95.6	9.4	91.8	64.8	79.2	81.8	95.9	90.0	52.1	18.9	16.2	63.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: Base de dados do modelo BeGreen.

TABELA 18 - Composição setorial do uso de fatores primários – 2005 (% do valor adicionado por setor)

Setores	Trabalho	Capital	Terra	Setores	Trabalho	Capital
Agricultura, silvicultura, exploração flores	66%	27%	7%	Eletrodomésticos	66%	34%
Pecuária e pesca	94%	4%	2%	Máquinas para escritório e eq. de informáti	70%	30%
Petróleo e gás natural	24%	76%		Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	54%	46%
Minério de ferro	13%	87%		Material eletrônico e eq. de comunicações	82%	18%
Outros da indústria extrativa	43%	57%		Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar	38%	62%
Alimentos e bebidas	53%	47%		Automóveis, camionetas e utilitários	28%	72%
Produtos do fumo	52%	48%		Caminhões e ônibus	94%	6%
Têxteis	47%	53%		Peças e acessórios para veículos automoto	68%	32%
Artigos do vestuário e acessórios	90%	10%		Outros equipamentos de transporte	74%	26%
Artefatos de couro e calçados	84%	16%		Móveis e produtos das indústrias diversas	48%	52%
Produtos de madeira - exclusive móveis	53%	47%		Geração de eletricidade	21%	79%
Celulose e produtos de papel	52%	48%		Transmissão e distribuição de eletricidade	21%	79%
Jornais, revistas, discos	47%	53%		Distribuição de gás natural	21%	79%
Refino de petróleo e coque	25%	75%		Água, esgoto e limpeza urbana	21%	79%
Álcool	23%	77%		Construção	42%	58%
Produtos químicos	45%	55%		Comércio	56%	44%
Fabricação de resina e elastômeros	32%	68%		Transporte, armazenagem e correio	53%	47%
Produtos farmacêuticos	43%	57%		Serviços de informação	36%	64%
Defensivos agrícolas	47%	53%		Intermediação financeira e seguros	40%	60%
Perfumaria, higiene e limpeza	39%	61%		Serviços imobiliários e aluguel	3%	97%
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	59%	41%		Serviços de manutenção e reparação	52%	48%
Produtos e preparados químicos diversos	61%	39%		Serviços de alojamento e alimentação	58%	42%
Artigos de borracha e plástico	63%	37%		Serviços prestados às empresas	62%	38%
Cimento	30%	70%		Educação mercantil	96%	4%
Outros produtos de minerais não-metálico	61%	39%		Saúde mercantil	81%	19%
Fabricação de aço e derivados	30%	70%		Outros serviços	85%	15%
Metalurgia de metais não-ferrosos	36%	64%		Educação pública	92%	8%
Produtos de metal	44%	56%		Saúde pública	91%	9%
Máquinas e equipamentos	72%	28%		Administração pública e seguridade social	86%	14%

Fonte: Base de dados do modelo BeGreen

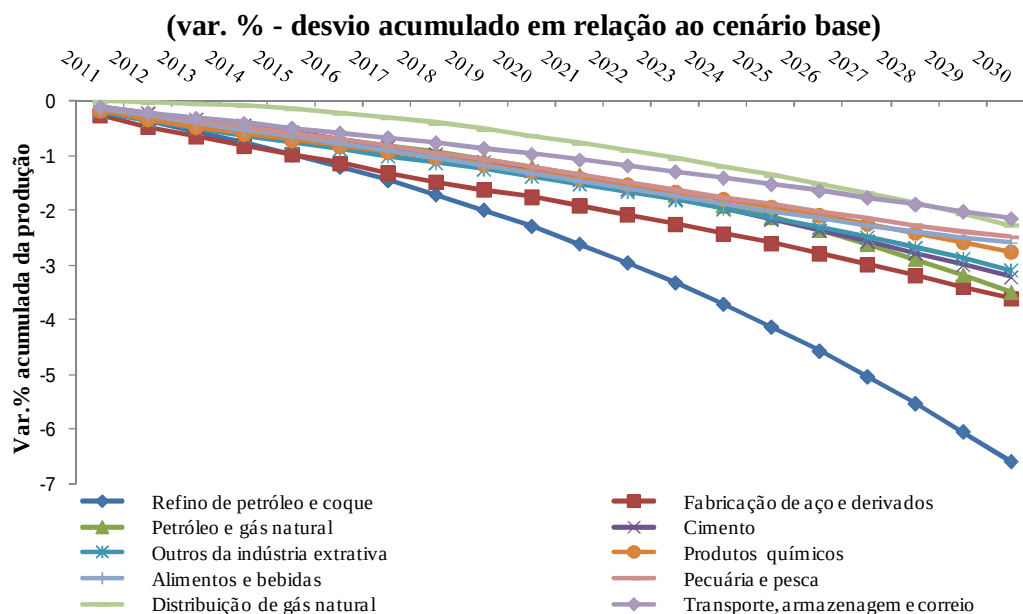
5.2.2.1 Cenário 1: Metas de redução de emissões

Os resultados desta seção retratam as projeções dos impactos setoriais mais relevantes sobre a produção (desvios acumulados em relação ao cenário base) da imposição de metas de emissões. Mais uma vez, cabe enfatizar, que os setores apresentam crescimento positivo no cenário base, logo, os resultados negativos de impacto mostrados nas figuras são reduções na produção relativas a este cenário e, portanto, não devem ser lidos como retrações absolutas de produção.

Para tornar a análise menos exaustiva, serão apresentados aqui os resultados setoriais referentes à meta de 5% de reduções de emissões, dado que a configuração dos setores mais ou menos afetados não se altera significativamente com o aumento das metas de redução. No final desta seção, apresentar-se-á resultados sumarizados para as metas de 5% e 25% para comparação.

A incidência da política é diferenciada entre os setores. A Figura 28 apresenta, primeiramente, os setores mais afetados pela imposição da meta de 5% de redução de emissões, em termos de diminuição do nível de produção setorial. Os setores mais afetados pela política são tanto os mais intensivos no uso de combustíveis como os produtores destes combustíveis. Refino de petróleo e coque, Fabricação de aço e derivados, Petróleo e gás natural, Alimentos e Bebidas, Distribuição de gás natural e Transporte, armazenagem e correio fazem parte deste grupo. Outros setores são negativamente impactados pela redução do nível de atividade, uma vez que fazem parte do grupo de setores em que as emissões são majoritariamente decorrentes da atividade produtiva, tais como Cimento, Outros da indústria extrativa, Produtos químicos e Pecuária e pesca.

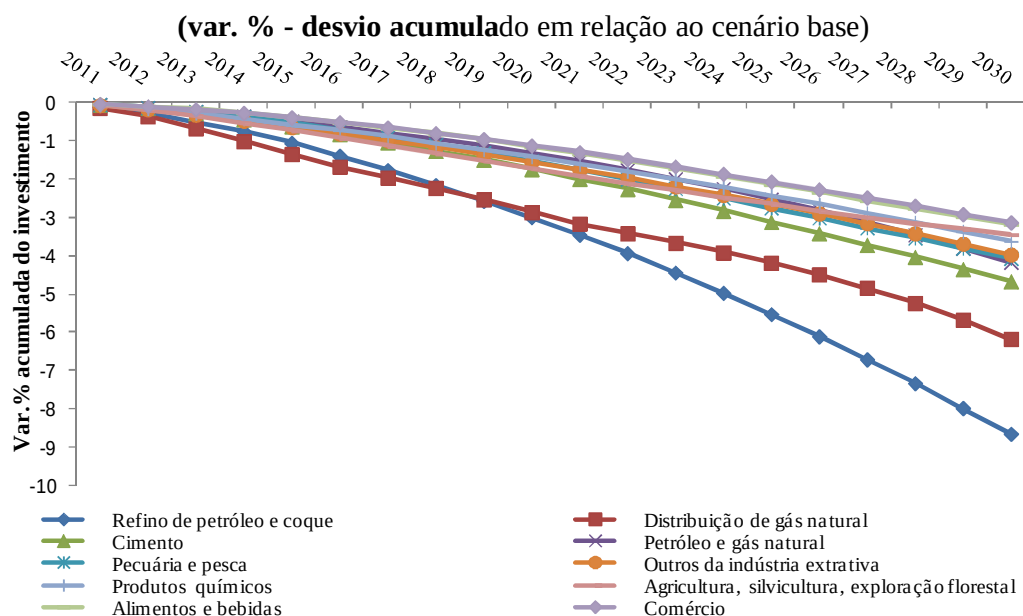
FIGURA 28 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial.



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

A explicação mais pormenorizada para estes resultados reside no aumento de preços dos setores intensivos em carbono e na queda do investimento. Com efeito, o custo de produção dos setores aumenta à medida que eles precisam levar em conta o custo das emissões de GEEs. De forma esperada, o setor mais afetado pela política é o responsável pela produção de combustíveis. Refino de petróleo e coque apresenta uma queda acumulada de -6,57% da produção em relação ao cenário base em 2030. Um componente fundamental para o declínio da produção deste setor é o recuo do investimento (-8,64%). Além do recuo da demanda intermediária e do consumo das famílias, decorrente do aumento dos custos de produção (1,2%), o setor é intensivo em capital (75% de participação) e sofre com o declínio da demanda (-3,02% acumulado em relação ao cenário base), dado o menor preço do fator (-26,2%). A figura 29 retrata os 10 setores mais impactados pela queda do investimento em relação ao cenário base. Percebe-se que de modo análogo, a redução da produção da maioria dos setores anteriormente mencionados está relacionado com o aumento dos custos de produção, associados a uma redução da demanda e consequente recuo na demanda de fatores primários.

FIGURA 29 - Impactos no investimento dos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

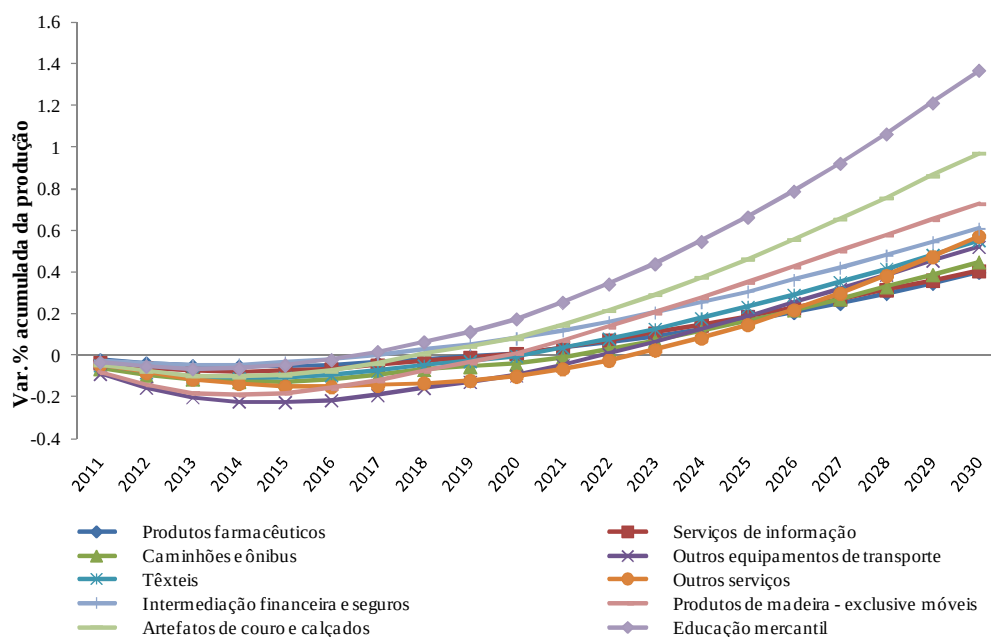
Deve-se ressaltar ainda os resultados dos setores de Pecuária e pesca (-2,47%) e Agricultura, silvicultura e exploração florestal (-1,20%), uma vez que juntos são responsáveis por cerca de 88% das emissões associadas a atividade produtiva. Nesse caso, o principal fator responsável pela queda de produção do setor, não é o uso de combustíveis, mas sim a imposição de custos para se emitir GEE. Este aumento de custos repercute de forma indireta ao longo da cadeia produtiva, como em Alimentos e Bebidas⁶⁹ (-2,58%), e também o consumo das famílias, haja vista que os bens agropecuários se tornam relativamente mais caros.

Em contrapartida, a Figura 30 revela os 10 setores menos afetados pela política de restrição de emissões. Conforme se nota, apesar da diminuição da produção nos primeiros anos da política, há uma reversão deste quadro de forma a apresentar expansões na produção relativas ao cenário base em 2030. Dentre estes setores enquadram-se grande parte dos serviços, com destaque para Educação mercantil (1,37% de aumento da produção em relação ao cenário base), Intermediação financeira e

⁶⁹ O setor de Alimentos e Bebidas também é afetado pelo aumento dos custos de produção derivados do uso mais intensivo de energia e combustíveis.

seguros (0,60%) e Outros serviços (0,57%). Estes são setores que quase não emitem GEE e se beneficiam do deslocamento de fatores produtivos (capital e trabalho).

FIGURA 30 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base) -

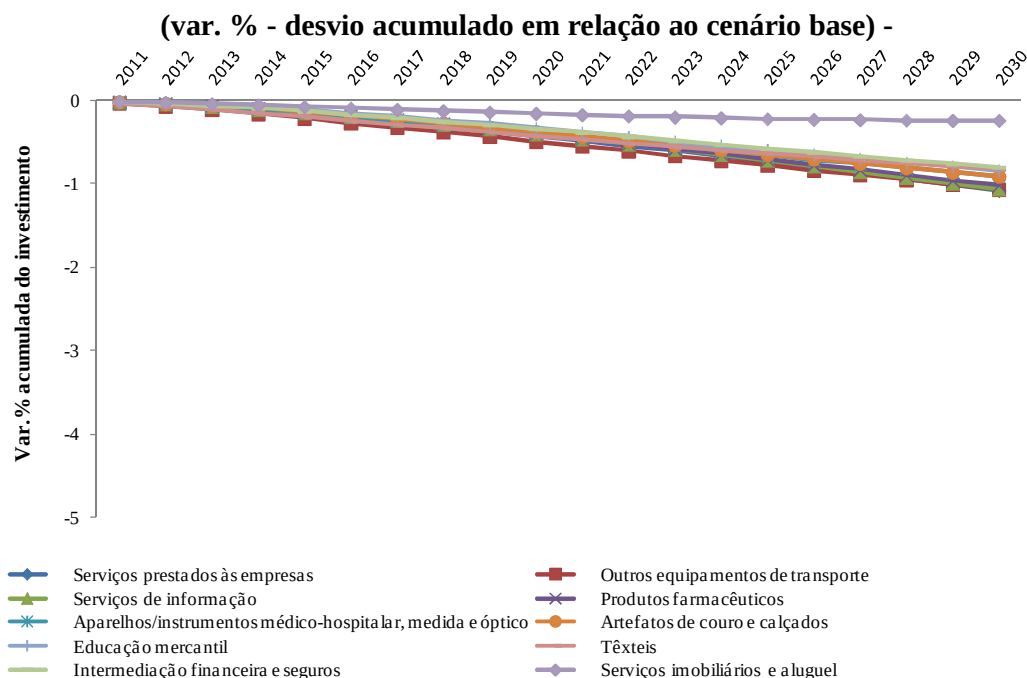


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Alguns setores industriais pouco intensivos em carbono também fazem parte deste grupo, como Artefatos de couro e calçados (0,97%), Produtos de madeira (0,73%) e Têxteis (0,55%), com efeitos positivos sobre a demanda por trabalho. Outros equipamentos de transporte (0,52%) e Caminhões e ônibus (0,44%), apesar da redução inicial da produção, como resultado do aumento dos custos dentro da cadeia produtiva, não logram, no longo prazo, dos efeitos negativos indiretos do Setor de Transportes. Embora tenham uma pequena queda relativa ao cenário base do investimento, estes setores também se deparam com uma ampliação da demanda por trabalho devido a variação negativa dos salários, compensando uma pequena queda na demanda por capital.

Na figura 31 é possível visualizar os setores menos impactados pela variação negativa do investimento em relação ao cenário base em 2030.

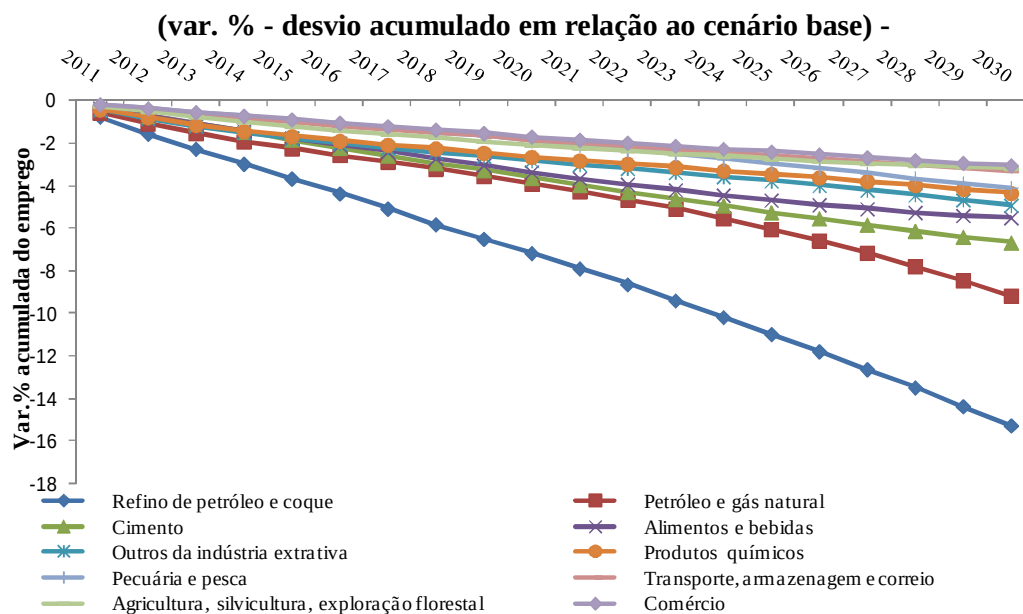
FIGURA 31 - Impactos no investimento dos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de investimento setorial



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

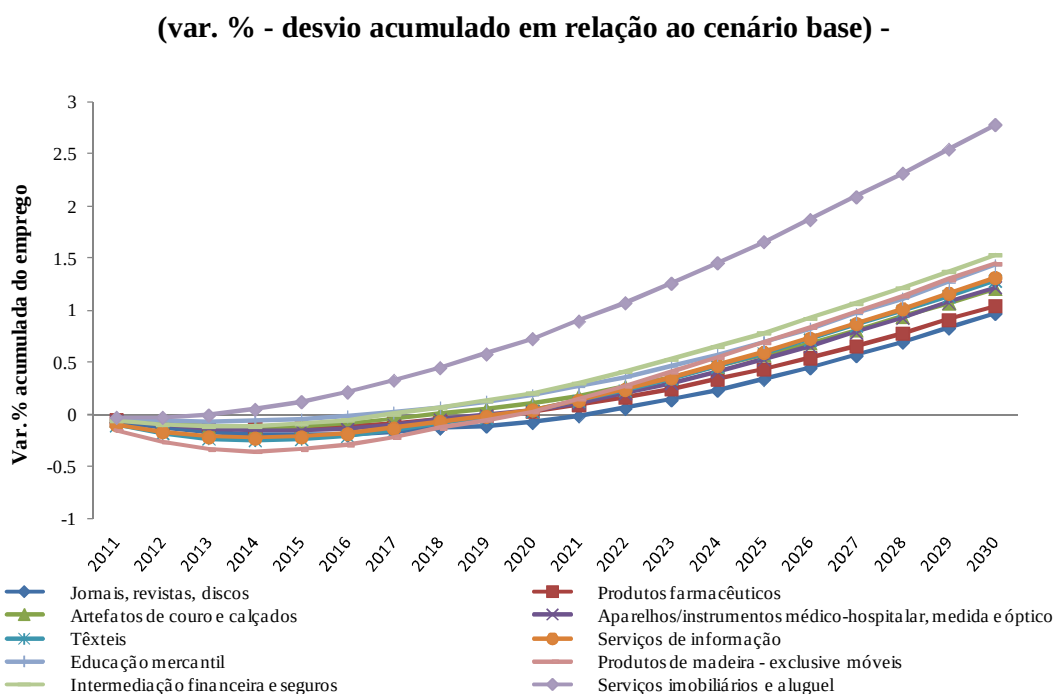
Para finalizar, apresentam-se os resultados referentes ao desvio acumulado em relação ao cenário base do emprego. As figuras 32 e 33 retratam as variações do emprego dos setores mais e menos afetados, respectivamente. Em linhas gerais, os impactos negativos sobre o emprego relacionam-se aos decréscimos projetados de produção e variação do salário real, conforme especifica a própria estrutura teórica do modelo. Assim, verificam-se, de acordo com a figura X, reduções mais acentuadas nos setores de Refino de petróleo e coque (-16,0%) e Petróleo e gás natural (-10,7%). Em sentido contrário, pode-se encontrar variações positivas em vários setores de serviços, que experimentam um aumento na demanda por trabalho, tais como, Serviços imobiliários e aluguel, Intermediação financeira e seguros, Educação mercantil e Serviços de informação. Assim, há um deslocamento do fator trabalho dos setores industriais, da agricultura e da pecuária, para os setores de serviços.

FIGURA 32 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

FIGURA 33 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial

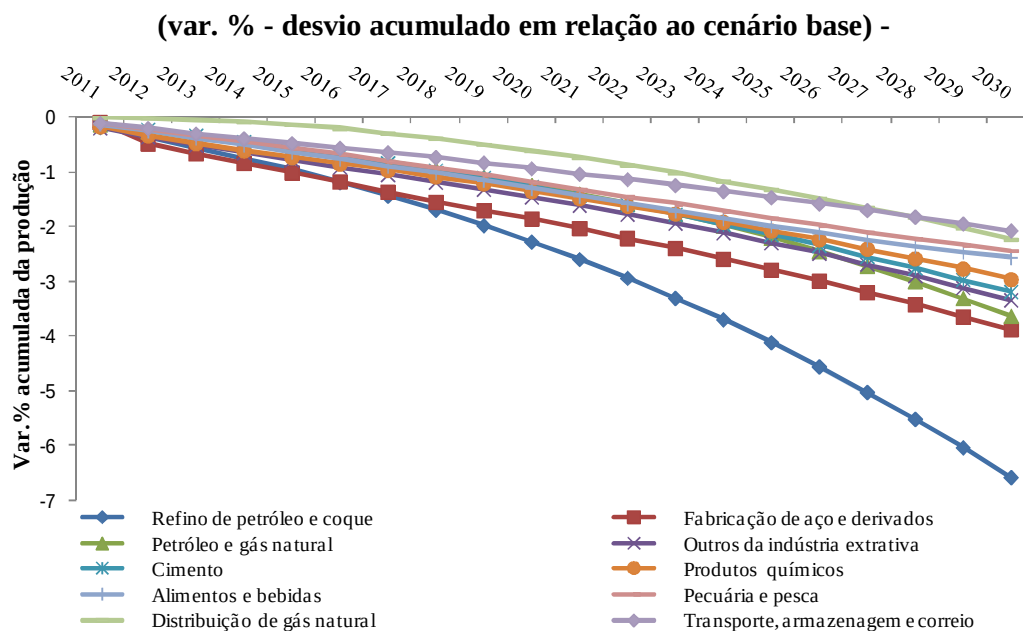


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.2.1.2 Cenário 2: Metas de redução de emissões e devolução da tributação para as famílias

Neste segundo cenário, avaliam-se os efeitos setoriais da devolução da tributação para as famílias. Os resultados não se alteram significativamente em relação ao Cenário 1, em termos dos setores mais impactados e também na magnitude. Esta seção, portanto, é mais concisa evitando que a análise se torne repetitiva. O ponto chave neste cenário para os resultados setoriais é a diminuição da queda da produção, devido ao menor variação do consumo das famílias e investimento se comparado ao cenário 1 (em que não há devolução da tributação). Algumas poucas modificações de ordenamento e trajetória dos impactos de cada setor pode ser observada na figura 34.

FIGURA 34 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.

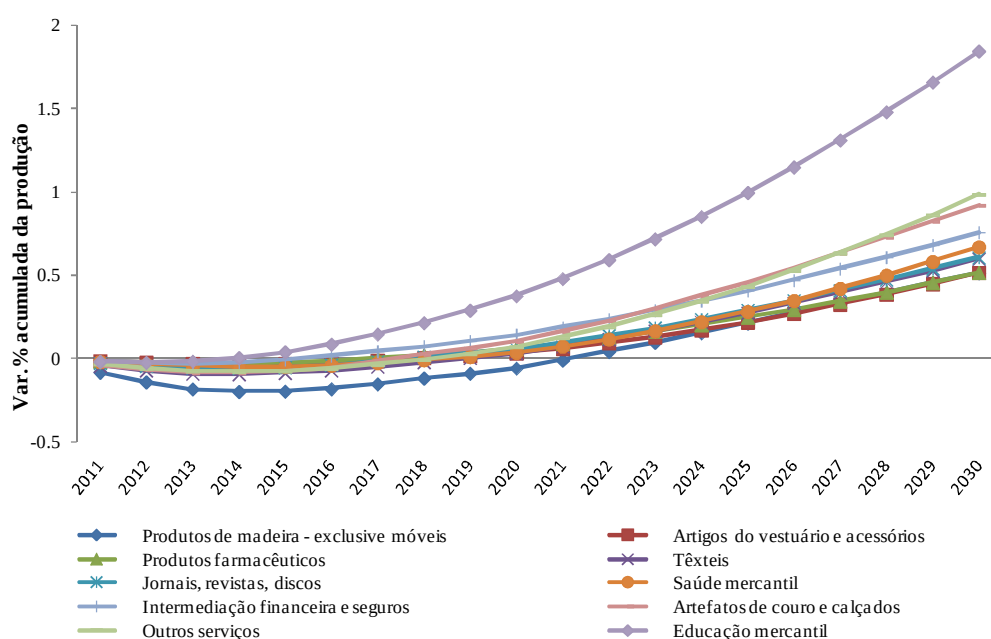


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

No caso da análise dos setores menos afetados pela política (Figura 35), no entanto, percebe-se novos setores que não apareciam entre os 10 menos afetados no Cenário 1. Entre eles estão, Artigos do vestuário e acessórios, Jornais, revistas e discos e Saúde

mercantil. Isto indica as famílias ao se depararem com um aumento adicional da renda disponível, realocam seu consumo para bens diretamente ligados a estes setores, onde a proporção do gasto com bens de luxo é maior.

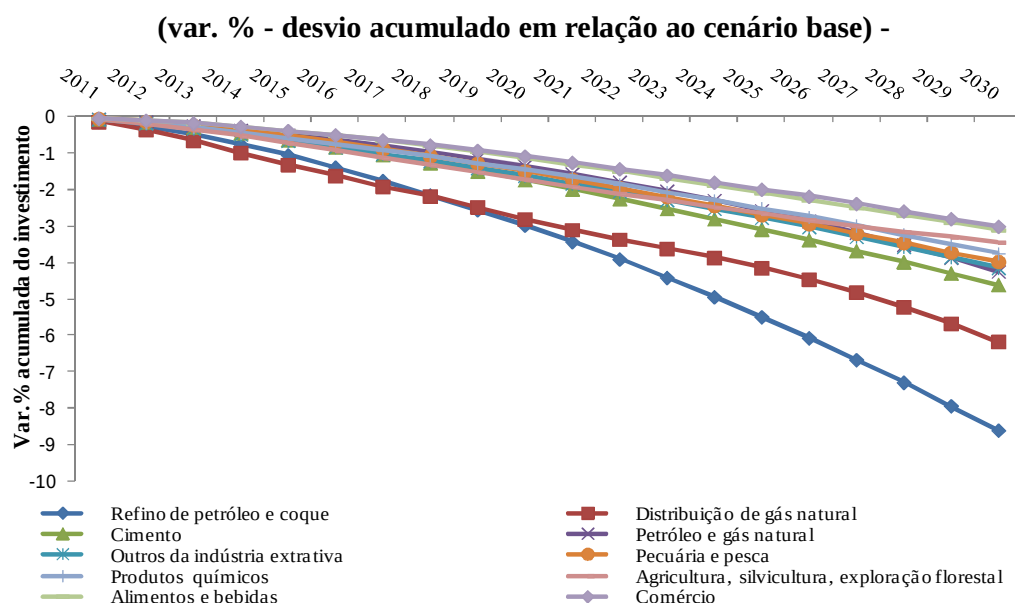
FIGURA 35 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.
(var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base) -



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

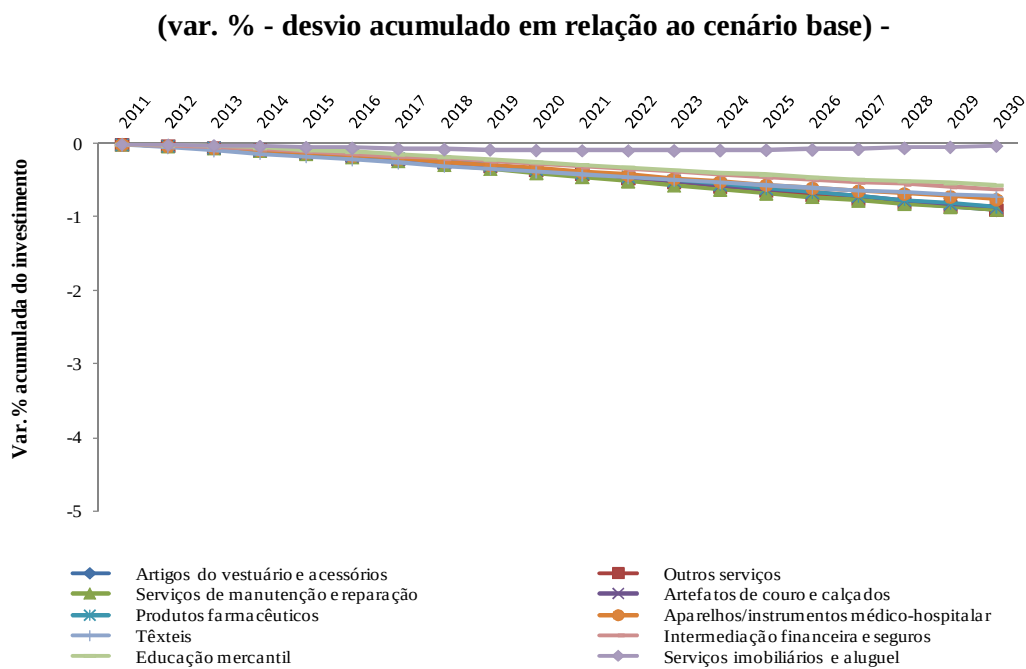
Conforme já elucidado na seção anterior, pode-se associar os resultados expostos acima com o nível de impacto sobre o investimento dos setores. As demais figuras da seção (Figura 36, 37, 38 e 39) referem-se aos impactos setoriais sobre o investimento e emprego considerando o cenário de devolução da tributação sobre a forma de subsídio ao consumo das famílias.

FIGURA 36 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de investimento setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.



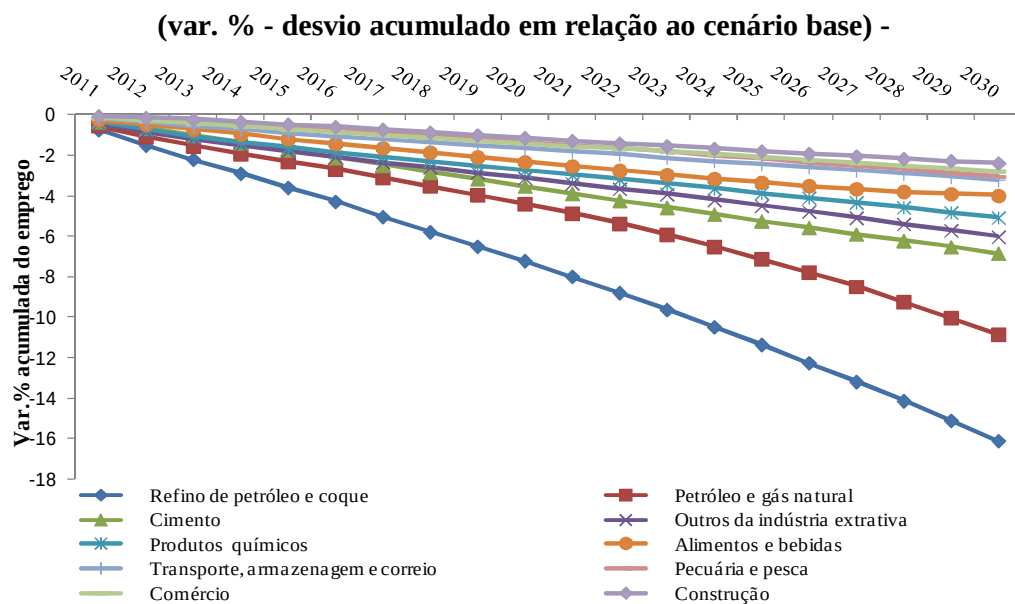
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

FIGURA 37 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de investimento setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.



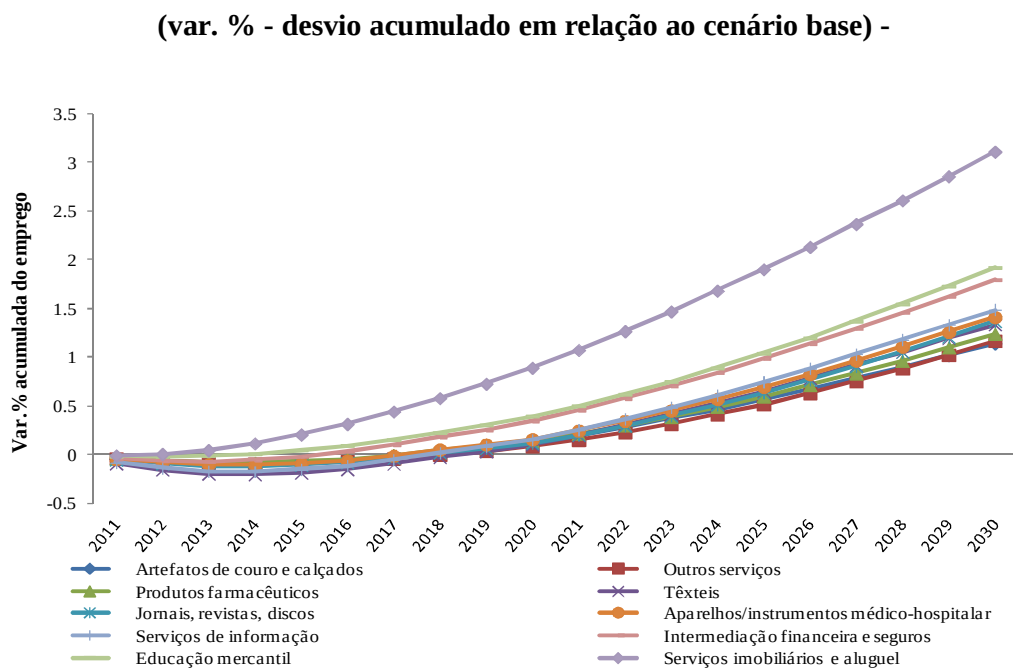
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

FIGURA 38 - Impactos nos setores mais afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

FIGURA 39 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de emprego setorial no cenário com devolução da tributação para as famílias.



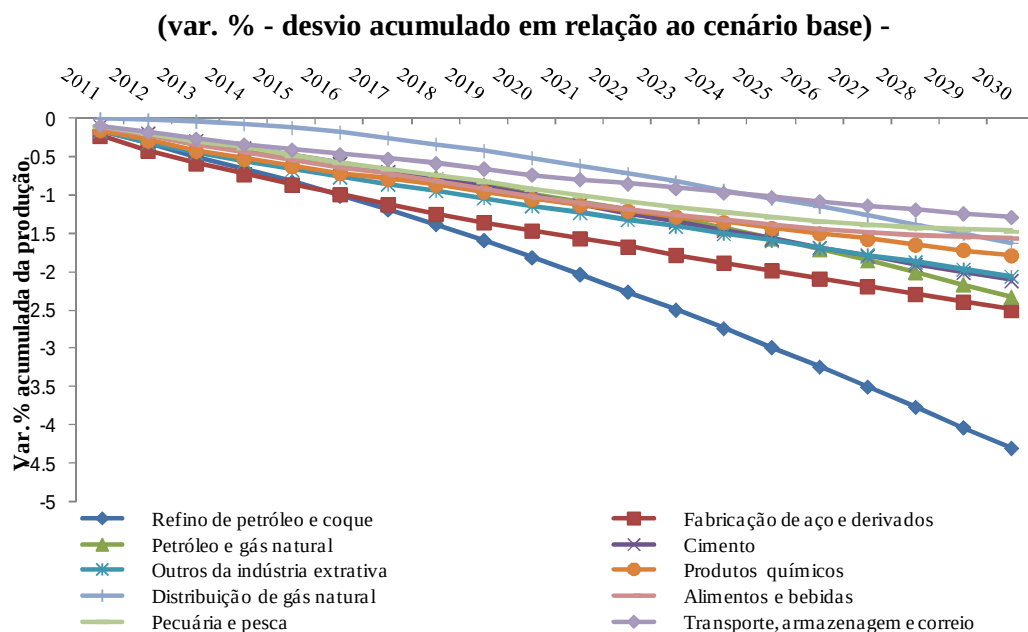
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.2.1.3 Cenário 3: Metas de redução de emissões via tributação, devolução para as famílias e abatimento de emissões

O último cenário adiciona a hipótese de abatimento de emissão via mudança tecnológica endógena. Grosso modo, os resultados assemelham-se aos encontrados nas duas últimas seções. Contudo, algumas diferenças devem ser apontadas.

As figuras 40 e 41 mostram os impactos sobre a produção nos setores mais e menos afetados pela política de redução de 5% de emissões. Comparando aos cenários 1 e 2, percebe-se uma ligeira modificação na ordenação dos setores. Refino de petróleo continua tendo a maior variação negativa acumulada em relação ao cenário base, seguindo de setores ligados a emissão por atividade, tais como, Petróleo e gás natural, Cimento, Outros da indústria extrativa, Pecuária e pesca. O ponto central neste caso é a menor queda da produção. A hipótese de abatimento de emissões leva a uma maior eficiência, dado que a meta é atingida com maior facilidade e menor custo.

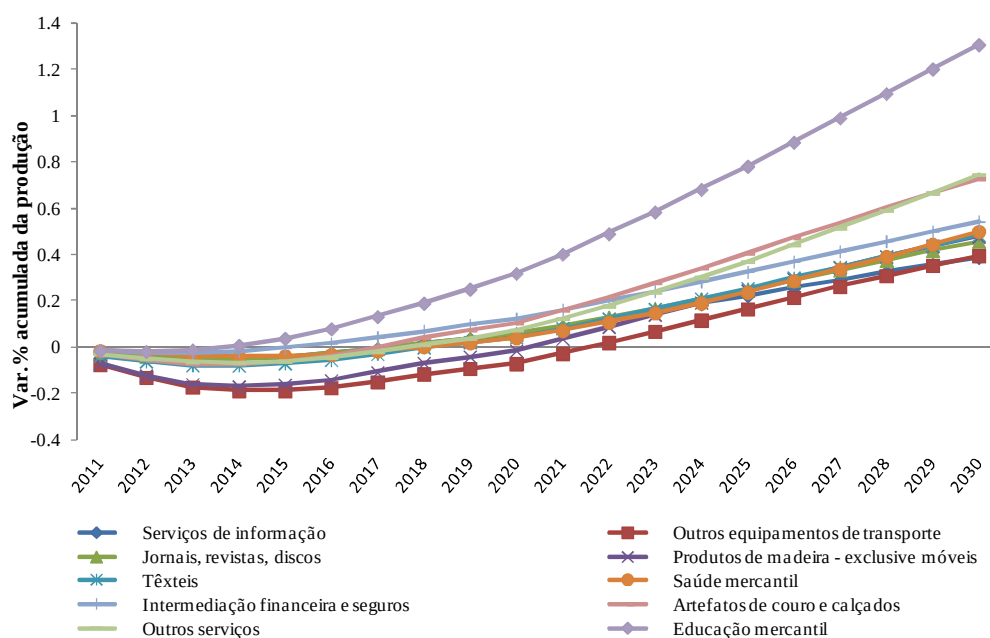
FIGURA 40 - Impactos nos setores mais afetados pelo redução de 5% de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução para as famílias e abatimento de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Quanto aos setores menos afetados, Educação mercantil permanece como o setor menos afetado pela política, seguido de Artefatos de couro e calçados, Jornais, revistas e discos e Produtos de madeira. Estes resultados pouco se modificam em relação aos apresentados nos Cenários 1 e 2.

FIGURA 41 - Impactos nos setores menos afetados pelo controle de 5% de redução de emissões sobre o nível de produção setorial no cenário com devolução para as famílias e abatimento de emissões
(var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base) -



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

De forma a possibilitar a visualização dos resultados para diferentes metas, a tabela 19 sumariza os impactos setoriais sobre o nível de produção da meta menos expressiva de 5% de redução de emissões e também da meta mais ambiciosa de 25%, para cada um dos cenários examinados.

TABELA 19 – Setores mais e menos afetados pela política de metas de redução de emissão em 5% e 25% para cada um dos cenários simulados* (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Setores	Produção setorial (var. % acumulada em 2030)					
	Meta de 5% de redução			Meta de 25% de redução		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Setores mais afetados						
Refino de petróleo e coque	-6.6	-6.6	-4.3	-32.6	-32.9	-22.2
Fabricação de aço e derivados	-3.6	-3.9	-2.5	-19.8	-21.4	-10.5
Petróleo e gás natural	-3.5	-3.6	-2.3	-19.2	-20.5	-12.5
Cimento	-3.2	-3.2	-2.1	-20.6	-10.3	-12.3
Outros da indústria extrativa	-3.1	-3.3	-2.1	-29.7	-31.2	-17.2
Produtos químicos	-2.7	-3.0	-1.8	-24.6	-25.7	-13.6
Alimentos e bebidas	-2.6	-2.6	-1.6	-23.1	-22.8	-10.8
Pecuária e pesca	-2.5	-2.4	-1.6	-22.0	-21.7	-10.3
Transporte, armazenagem e correios	-2.1	-2.1	-1.3	-18.7	-16.2	-8.1
Setores menos afetados						
Educação mercantil	1.4	1.8	1.3	7.4	11.8	8.5
Artefatos de couro e calçados	1.0	0.9	0.7	1.1	1.3	3.1
Produtos de madeira	0.7	0.5	0.5	-1.8	-3.3	1.3
Intermediação financeira e seguros	0.6	0.8	0.5	4.5	5.9	3.8
Outros serviços	0.6	1.0	0.7	3.8	4.4	4.6
Têxteis	0.6	0.6	0.5	-1.6	-1.0	1.7
Outros equipamentos de transporte	0.5	0.4	0.4	-4.0	-5.1	-0.2
Caminhões e ônibus	0.4	0.3	0.3	-3.2	-4.3	-0.4
Serviços de informação	0.4	0.5	0.4	1.7	2.5	2.3
Produtos farmacêuticos	0.4	0.5	0.4	0.2	1.2	1.9

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

*Obs: Cenário 1 (metas de redução de emissões), Cenário 2 (metas de redução com devolução da tributação para as famílias) e Cenário 3 (metas de redução com devolução às famílias e abatimento endógeno).

Comparando-se os resultados entre as metas de 5% e 25% de redução de emissões, verifica-se que o ordenamento dos setores mais afetados pela política nos cenários simulados pouco se modificam. Refino de petróleo e coque permanece como o principal setor mais prejudicado pela imposição de metas de redução de emissões. No que tange aos setores menos afetados, pode-se notar que embora os setores ainda permaneçam entre aqueles que menos sofrem com a política, alguns deles, em decorrência da magnitude da restrição de emissões (25%) passam a apresentar quedas relativas ao cenário base em 2030. É o caso de Produtos de madeira, Têxteis, Outros equipamentos de transporte e Caminhões e ônibus. Estes dois últimos apresentam as reduções mais acentuadas entre estes setores, experimentando reduções relativas da produção inclusive

no Cenário 3, em que há abatimento endógeno de emissões. Essas quedas são decorrentes dos efeitos de vazamento via cadeia produtiva.

5.2.2.1 Resultados dos Setores estruturados por Vetores Tecnológicos

Nesta subseção apresentam-se detalhadamente os impactos projetados de políticas de metas de emissão sobre os setores estruturados por vetores tecnológicos: Fabricação de Aço e Derivados e Geração de Eletricidade. No modelo, a escolha de produção desses setores é definida a partir de vetores tecnológicos de produção. Até o momento ainda não foi apresentado uma análise mais particularizada da composição das tecnologias empregadas em cada setor. Essa seção cumpre essa função, especificando a participação das tecnologias na produção setorial e também a participação dos bens energéticos em cada tecnologia.

Na tabela 20, encontram-se as participações das tecnologias na produção dos setores. Fabricação de Aço e Derivados apresenta dois distintos vetores tecnológicos, a saber: Arcos elétricos e Alto forno, sendo este responsável por 78% da produção setorial. No caso de Geração de Eletricidade, a Geração Hidroelétrica concentra grande parcela da produção, sendo predominante com mais de 85% de participação. As tecnologias de Termo a gás (4,8%), Nuclear (2,5%), e Biomassa (2,0%) aparecem em seguida. Destaca-se a baixa participação da tecnologia Eólica para a geração de eletricidade, respondendo por apenas 0,02% da produção de energia brasileira.

TABELA 20 – Participação das tecnologias na produção setorial

Setores	Part. (%)
Fabricação de Aço e Derivados	100%
Arcos elétricos	22.0%
Alto-forno	78.0%
Geração de eletricidade	100%
Hidroeletrica	86.3%
Termo a carvão	1.6%
Termo a gás	4.8%
Eólica	0.02%
Nuclear	2.5%
Termo a óleo combustível	0.8%
Termo a óleo diesel	1.9%
Biomassa	2.0%

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen.

Estes indicadores evidenciam a pouca participação de tecnologias intensivas em carbono na matriz energética nacional, sendo por isso, considerada mais limpa se comparada aos demais países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Complementando a análise anterior, as tabelas 21 e 22 descrevem a participação dos insumos energéticos em cada tecnologia de produção.

TABELA 21 - Participação dos insumos energéticos nas tecnologias de produção do setor de Fabricação de aço e derivados

Insumos energéticos	Tecnologias	
	Arcos Elétricos	Alto Forno
Carvão Metalúrgico	-	17.1%
Óleo Combustível	-	0.9%
Óleo Diesel	0.2%	0.2%
Querosene	0.1%	0.1%
Coque	-	4.0%
Outros Refino de Petróleo	0.9%	0.8%
Energia Hidráulica Pública	0.4%	0.5%
Energia Térmica Pública	1.2%	1.5%
Distribuição de energia elétrica	6.1%	8.1%
Distribuição de gás natural	0.3%	3.2%
Capital	63.3%	44.2%
Trabalho	27.7%	19.3%
Total	100.0%	100.0%

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen.

TABELA 22 - Participação das tecnologias na produção setorial

Insumos energéticos	Tecnologias							
	Hidroeletrica	Termo a carvão	Termo a gás	Eólica	Nuclear	Termo a óleo combustive l	Termo a óleo diesel	Biomassa
Bagaço de Cana	-	-	-	-	-	-	-	46%
Carvão Mineral	-	17%	-	-	-	-	-	-
Óleo Combustível	-	-	-	-	-	82%	-	-
Óleo Diesel	-	-	-	-	-	-	83%	-
Urânio	-	-	-	-	17%	-	-	-
Distribuição de energia elétrica	6%	7%	8%	3%	5%	3%	4%	14%
Distribuição de gás natural	-	-	66%	-	-	-	-	-
Capital	74%	62%	21%	77%	62%	12%	11%	31%
Trabalho	20%	15%	6%	21%	17%	3%	3%	8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen.

Pela tabela 21, visualiza-se que a tecnologia de Arcos elétricos é menos intensiva em combustíveis fósseis, ao passo que Alto forno tem uma importante parcela de uso de Carvão Metalúrgico e Coque. Da mesma forma, a tabela 22 mostra as participações dos insumos em cada tecnologia para Geração de Eletricidade. Termo a carvão, Gás, Óleo combustível e Biomassa, que utiliza bagaço de cana, concentram as maiores proporções de uso de insumos emissores de GEE. A apreciação destes indicadores é um importante componente para o entendimento dos resultados nas simulações destes setores.

Os impactos acumulados em relação ao cenário base em 2030 da produção de cada tecnologia são reportados na tabela 23. Um fator importante a ser considerado é a possibilidade de substituição entre tecnologias, que no modelo é definido por uma função CRESH. Como não existem estimativas na literatura para o caso brasileiro, as elasticidades foram definidas de forma *ad hoc*. No caso de Fabricação de Aço e Derivados assumiu-se uma elasticidade de 0,5 para modelar a substituição entre as duas tecnologias. Conforme aponta os resultados, há um efeito de substituição da tecnologia de Alto forno por Arcos elétricos, culminando em um efeito positivo acumulado em relação ao cenário base sobre a última tecnologia, um resultado esperado, dada a menor participação de combustíveis em sua composição.

Quanto à Geração de Eletricidade, conforme já mencionado na seção que trata da especificação da base de dados, para Geração hidroelétrica foi definido uma elasticidade de substituição mais alta (1,0) devido à própria estrutura da matriz energética do Brasil, assumindo que seja mais plausível a substituição desta tecnologia. As demais elasticidades foram definidas entre 0,3 e 0,5, de acordo com as estimativas utilizadas em Lin (2009). Um resultado interessante é o efeito substituição positivo das fontes energéticas mais limpas como a Hidroelétrica e a Eólica, as quais apresentam variações positivas acumuladas com relação ao cenário base em 2030. Apesar do efeito expansão do setor ser negativo, com o aumento dos custos de produção agregados, o efeito substituição, em decorrência dos menores preços relativos, compensa a queda da produção para estas tecnologias. Na outra ponta estão as tecnologias termoelétricas, como Termo a óleo combustível, a óleo diesel, gás e carvão que experimentam reduções na produção, como efeito do aumento dos custos de produção e queda da demanda. A tecnologia Biomassa, utiliza bagaço de cana, que apesar de não se configurar como um combustível fóssil sendo relativamente menos intensivo em carbono, também emite GEE, sendo portanto, igualmente tributada.

O resultado negativo da energia nuclear, a despeito da queda de preço relativo do urânio, é derivada da diminuição da demanda por capital, que impacta diretamente o setor intensivo neste fator.

TABELA 23 – Modificações nas tecnologias de produção setorial decorrentes de políticas de mitigação

Setores	Controle das emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	5%	10%	15%	20%	25%
Fabricação de Aço e Derivados					
Arcos elétricos	5.9	13.4	20.9	27.3	32.0
Alto-forno	-6.6	-14.6	-22.5	-29.6	-36.0
Geração de eletricidade					
Hidroeletrica	0.5	1.1	1.5	1.4	0.6
Termo a carvão	-3.6	-8.8	-15.1	-22.0	-29.4
Termo a gás	-3.2	-8.6	-15.5	-22.9	-30.4
Eólica	1.6	4.2	7.6	11.5	16.0
Nuclear	-3.5	-8.4	-14.3	-20.6	-27.1
Termo a óleo combustível	-19.5	-37.8	-51.9	-62.3	-70.0
Termo a óleo diesel	-18.1	-36.0	-50.4	-61.0	-69.0
Biomassa	-11.3	-21.9	-30.9	-38.6	-45.5

Fonte: Elaboração própria com base no modelo BeGreen.

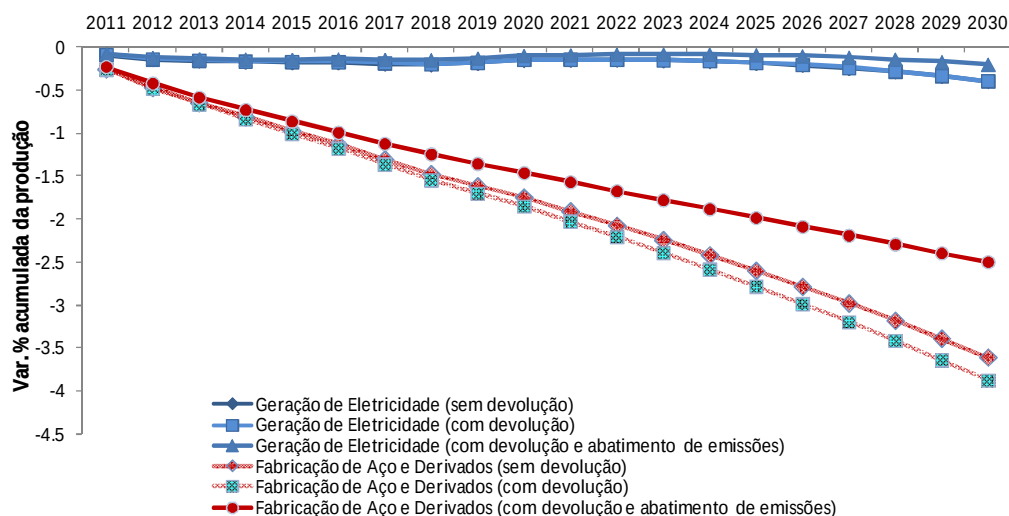
Para sintetizar estes resultados, a figura 42 ilustra a variação da produção dos dois setores para diferentes cenários das simulações⁷⁰ para uma meta de 5% de controle de emissões⁷¹. Conforme já apontado nos resultados setoriais, verifica-se um decréscimo da produção do setor de Fabricação de Aço e Derivados para os três cenários simulados. A razão para esta redução baseia-se no efeito negativo que incide sobre a tecnologia de Alto-forno. O efeito substituição é positivo, mas não compensa a queda da produção setorial provocada pela política.

A Geração de eletricidade, por sua vez, apresenta uma pequena redução da produção (-0,40% acumulado em relação ao cenário base de 2030). O efeito substituição positivo da tecnologia Hidroelétrica, e em menor proporção da Eólica, são responsáveis pela minimização do impacto sobre o setor, mas não são suficientes para reverter totalmente a queda da produção;

⁷⁰ Cabe lembrar que na estrutura de produção destes setores há ainda níveis de escolha de insumos intermediários não-energéticos.

⁷¹ O padrão dos resultados para as demais metas são semelhantes aos apresentados para a meta de 5%, apenas diferindo em magnitude. Por este motivo, decidiu-se não reportar estes resultados, para uma análise mais concisa.

FIGURA 42 - Variação da produção dos setores estruturados por vetores tecnológicos para diferentes cenários das simulações (Meta de 5% de controle de emissões em 2030)



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.2.3 Resultados das Emissões por combustíveis

Outra dimensão dos resultados das simulações é a variação das emissões de acordo com as fontes emissoras. Na tabela 24, são reportados as variações acumuladas de emissões para cada fonte em 2030, conjugado com sua respectiva contribuição para as metas de redução simuladas. Este indicador é importante dado que uma queda elevada das emissões em uma fonte não necessariamente significa uma contribuição relevante em termos da redução das emissões, se a base de emissões for relativamente pequena. Tendo em vista este aspecto, as contribuições mais destacadas para o alcance das metas em relação ao cenário base estão na redução das emissões de Lenha, Atividade produtiva, Gasolina e Óleo diesel. Vale lembrar que, no modelo, há a possibilidade de substituição entre Gasolina e Álcool devido a mudança nos seus preços relativos. Assim, grande parte da queda de emissões da gasolina é proveniente desta substituição. Óleo diesel e outros combustíveis fósseis tem uma redução mais pronunciada pelo impacto sobre o setor de Transportes, intensivo em seu uso.

TABELA 24 - Variação acumulada das emissões e contribuição para o alcance da meta de redução de emissões por fontes emissoras (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Emissores	Metas de redução de emissões em 2030									
	5%		10%		15%		20%		25%	
	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição
Carvão Metalúrgico	-0.1	0.02%	-0.3	0.04%	-0.6	0.05%	-1.1	0.07%	-1.7	0.08%
Carvão Mineral	-3.0	2.4%	-7.4	3.1%	-12.7	3.6%	-18.4	3.9%	-24.3	4.2%
Lenha	-45.2	24.4%	-57.6	16.2%	-63.2	12.0%	-66.6	9.5%	-69.3	8.0%
Carvão Vegetal	-8.8	4.4%	-15.5	4.0%	-21.8	3.8%	-27.7	3.7%	-33.3	3.5%
Bagaço de Cana	-16.0	6.4%	-22.6	4.7%	-25.6	3.6%	-27.5	2.9%	-29.0	2.5%
Petróleo e Gás Natural	-13.5	2.9%	-25.6	2.9%	-34.4	2.6%	-40.7	2.3%	-45.4	2.1%
GLP	-9.1	2.0%	-20.4	2.3%	-30.9	2.4%	-39.5	2.3%	-46.5	2.2%
Gasolina	-10.3	13.1%	-22.0	14.6%	-32.3	14.4%	-40.4	13.6%	-46.8	12.7%
Óleo Combustível	-5.2	2.0%	-10.9	2.2%	-16.2	2.2%	-21.0	2.1%	-25.6	2.1%
Óleo Diesel	-4.6	8.5%	-10.0	9.7%	-15.3	10.0%	-20.3	10.0%	-25.0	10.0%
Querosene	-9.7	2.7%	-18.1	2.6%	-24.7	2.4%	-30.1	2.2%	-35.0	2.1%
Coque	-15.1	4.3%	-22.3	3.3%	-26.3	2.6%	-28.9	2.2%	-30.9	1.9%
Outros Refino de Petróleo	-3.1	1.0%	-7.0	1.1%	-11.4	1.2%	-16.0	1.3%	-20.9	1.4%
Alcool	-8.8	2.4%	-17.6	2.5%	-24.8	2.3%	-30.5	2.2%	-35.5	2.0%
Atividade produtiva	-2.1	23.4%	-5.2	30.8%	-9.3	36.8%	-13.9	41.6%	-18.8	45.3%
Redução total das emissões	-5	100%	-10	100%	-15	100%	-20	100%	-25	100%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

A explicação para o grande impacto sobre a Lenha reside no fato de que como o imposto é sobre o conteúdo de carbono, se o produto tem baixo valor monetário, então a tributação *ad valorem* fica alta (o imposto *ad valorem* para a lenha é crescente e chega a 107% em 2030, enquanto o imposto *ad valorem* sobre a gasolina é de 12,2 % em 2030). À medida que as metas de redução de emissões se tornam mais ambiciosas, a contribuição sobre a meta total diminui devido à queda no uso e nas emissões deste combustível. Esse resultado está em consonância com a queda verificada ao longo dos anos (desde a década de 70) do consumo deste combustível, ficando restrita sua utilização, principalmente no meio rural (residências e agropecuária).

No tocante às reduções de GEE decorrentes do nível de atividade, que representam cerca de 60% das emissões totais do banco de dados, nota-se que, ao passo em que a meta se acumula, cresce a contribuição para a redução de emissões desta fonte.

A tabela 25 compara a mudança de participação das fontes emissoras na matriz de emissões brasileiras entre a base de dados inicial (2005) e os resultados projetados em 2030 para cada uma das metas de redução de emissões. Em 2005, cerca de 60% das emissões são derivadas da atividade produtiva, notadamente das emissões da Agropecuária. Os resultados sugerem que apesar da queda relativa das emissões em relação ao cenário base verificada nas emissões, há um aumento relativo de participação

desta fonte (aumento de mais 2 pontos percentuais para a meta menos audaciosa de 5% de redução de emissões).

Óleo Diesel e Gasolina também são importantes emissores quando se avalia o uso de combustíveis. Gasolina, por exemplo, apresenta queda de participação relativa ao longo das metas de redução, sobretudo em decorrência da substituição de seu uso por Álcool. Óleo diesel, por sua vez, tem uma variação pouco expressiva da participação. Lenha, um combustível renovável, reduz consideravelmente sua participação na matriz de emissões, com queda de 1.6 pontos percentuais para a meta de 5% de redução de emissões.

TABELA 25 - Participação das fontes emissoras com metas de redução de emissões de GEE em 2030 (part. %).

Emissores	Base de dados inicial (2005)	Metas de redução de emissões em 2030				
		5.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%
Carvão Metalúrgico	1.2	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Carvão Mineral	4.3	5.2	5.3	5.3	5.2	5.1
Lenha	2.9	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
Carvão Vegetal	2.6	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9
Bagaço de Cana	2.1	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4
Petróleo e Gás Natural	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8
GLP	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
Gasolina	6.7	7.2	6.6	6.0	5.6	5.4
Óleo Combustível	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Óleo Diesel	9.9	9.8	9.7	9.7	9.7	9.8
Querosene	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
Coque	1.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Outros Refino de Petróleo	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9
Álcool	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
Atividade produtiva	60.0	62.3	63.6	64.5	65.0	65.4
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Por fim, apresentam-se os resultados para os cenários de devolução da tributação para as famílias, e devolução com abatimento de emissões (Tabela 26).

TABELA 26 - Variação acumulada das emissões e contribuição para o alcance das metas por fontes emissoras para os diferentes cenários das simulações (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Emissores	Meta de 5% de redução de emissões em 2030					
	Simulações					
	Sem devolução		Devolução no montante de tributação das famílias		Devolução e abatimento de emissões dos setores	
	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição
Carvão Metalúrgico	-0.1	0.02%	-0.1	0.03%	-0.1	0.02%
Carvão Mineral	-3.0	2.43%	-3.1	2.47%	-1.9	1.58%
Lenha	-45.2	24.43%	-45.3	24.49%	-37.8	20.60%
Carvão Vegetal	-8.8	4.40%	-9.1	4.52%	-6.8	3.41%
Bagaço de Cana	-16.0	6.43%	-16.0	6.44%	-12.5	5.09%
Petróleo e Gás Natural	-13.5	2.91%	-13.5	2.91%	-9.5	2.06%
GLP	-9.1	2.01%	-9.0	1.99%	-5.7	1.28%
Gasolina	-10.3	13.08%	-10.2	12.99%	-6.6	8.52%
Óleo Combustível	-5.2	1.98%	-5.2	1.99%	-3.5	1.35%
Óleo Diesel	-4.6	8.54%	-4.5	8.45%	-3.0	5.59%
Querosene	-9.7	2.69%	-9.7	2.67%	-6.8	1.89%
Coque	-15.1	4.33%	-15.1	4.34%	-11.6	3.37%
Outros Refino de Petróleo	-3.1	0.96%	-3.1	0.97%	-1.9	0.62%
Álcool	-8.8	2.37%	-8.9	2.38%	-5.9	1.59%
Atividade	-2.1	23.41%	-2.1	23.36%	-3.8	43.04%
Redução total das emissões	-5	100%	-5	100%	-5	100%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Comparando o comportamento das emissões nos cenários sem a devolução e com esta possibilidade, percebe-se pouca variação. Este resultado baseia-se no fato de que a devolução impede uma queda no consumo das famílias, que poderia se manifestar sob a forma de diminuição das emissões pelo uso de combustíveis. A devolução do imposto representa uma realocação das emissões, no qual alguns combustíveis têm um aumento marginal de emissões e outros, redução. Assim, este resultado evidencia que apesar da devolução de imposto às famílias ser uma medida compensatória, neutra do ponto de vista fiscal, ela compromete a queda mais expressiva das emissões de GEE, ao favorecer o consumo.

Em relação ao cenário de mudança tecnológica endógena nos setores produtivos emissores de GEE, pode ser observado que o efeito desta hipótese amplia a eficiência na redução de emissões, através da redução diferencial acumulada das emissões associadas

à atividade produtiva, que passam a contribuir com mais de 40% da meta. Como a mudança tecnológica e consequente redução de emissões nesta fonte é mais custo-eficiente do que a diminuição por combustíveis, há uma realocação destas reduções, de tal modo que a contribuição referente aos combustíveis se reduz de 77% para cerca de 57%.

5.2.3 Resultados por grupos de famílias

Uma política que eleva os preços dos bens intensivos em carbono, como os bens energéticos, ou que repercute sobre a cadeia alimentícia, pode ter impactos desproporcionais sobre as famílias. Uma das principais preocupações quando da introdução de taxas ou maiores custos sobre a economia diz respeito à equidade. Esta tese é a primeira a considerar os efeitos distributivos sobre as famílias da imposição de metas de redução de emissões sobre a economia. O modelo BeGreen foi especialmente especificado para a análise da incidência da restrição de emissões por grupos de famílias, já que apresenta em sua especificação 10 famílias representativas, definidas de acordo com os decis de renda total por unidade familiar. As denominações H1 a H10 representam a desagregação das famílias baseadas em decis de renda, no qual H1 refere-se ao primeiro decil (famílias de mais baixa renda), ao passo que em H10 estão às famílias na faixa de maior renda. A Tabela 27 retrata a participação das famílias no consumo, de acordo com o banco de dados do modelo⁷².

⁷² É importante destacar, que as simulações foram realizadas com parâmetro de FRISCH constante para todas as famílias (-2,48). Este parâmetro mede a razão entre gastos de subsistência e gastos de não-subsistência (luxo) por produto para as famílias. Espera-se, pois, que tal razão seja maior para famílias pobres do que para famílias ricas, como é utilizado na literatura (FRISCH, 1929).

TABELA 27 - Participação das famílias no consumo e renda média, por decil de renda – 2005.

Famílias por decis de renda	Participação no Consumo	Renda Média (R\$)
H1	3%	210,71
H2	3%	379,11
H3	4%	523,81
H4	5%	674,80
H5	6%	859,31
H6	7%	1.103,00
H7	9%	1.431,09
H8	11%	1.954,89
H9	16%	3.000,83
H10	36%	8.000,76
Total	100%	-

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen

É notável a participação majoritária dos maiores decis de renda no consumo das famílias. Juntos, os dois últimos decis (H9 e H10) respondem por mais da metade do valor de compras das famílias (52%). Esta participação no consumo pode ser decomposta pelos bens energéticos do modelo, de forma a apontar o padrão dos gastos de cada decil, que se reflete nos resultados das simulações. Como pode ser visto na tabela 28, os decis mais baixos gastam uma proporção maior de sua renda com energia elétrica se comparado aos decis superiores. Em contrapartida, os últimos decis apresentam uma alta proporção do gasto em combustíveis fósseis, com especial destaque para a gasolina. No total, as famílias do menor decil de renda gastam cerca de 5,2% da renda no consumo de bens energéticos, ao passo que o mais alto decil, chega a 9,4%. Logo, do ponto de vista distributivo, faz sentido uma política que desonera a energia elétrica e tributa combustíveis, como a gasolina (como em fevereiro de 2003).

TABELA 28 - Participação dos bens energéticos no consumo das famílias - 2005

Bens energéticos	Consumo das Famílias (%)									
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10
Lenha	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
Carvão Vegetal	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
GLP	0.26	0.25	0.29	0.34	0.42	0.6	0.69	0.92	1.17	1.24
Gasolina	0.34	0.08	0.08	0.23	0.31	0.4	0.9	1.79	2.61	5.47
Óleo Diesel	0.1	0.17	0.08	0.19	0.15	0.13	0.17	0.24	0.28	0.31
Querosene	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Outros Refino de Petróleo	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.14	0.14
Álcool	0.12	0.12	0.26	0.33	0.43	0.35	0.59	0.67	0.82	0.4
Energia Elétrica	4.12	4.15	3.96	3.75	3.55	3.46	3.13	2.77	2.44	1.65
Gás Natural	0.23	0.23	0.22	0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	0.13	0.09
Total Bens Energéticos	5.2	5.1	4.9	5.1	5.1	5.2	5.8	6.7	7.6	9.4
Produtos agropecuários e alimentos	33.9	33.6	29.4	28.1	24.8	22.2	20.1	16.7	13.3	7.8
Serviços	26.5	28.0	31.5	32.3	35.5	38.3	40.7	44.0	46.9	55.5
Demais Insumos Intermediários	34.3	33.3	34.2	34.6	34.6	34.3	33.5	32.7	32.1	27.4
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen

Tendo em vista estes indicadores, a Tabela 29 retrata os impactos de uma tributação de carbono sobre o consumo de cada família representativa, para a meta de 5% de redução das emissões, para cada uma dos 3 cenários da simulação⁷³.

⁷³ Os resultados para as demais metas são análogos, diferindo apenas a magnitude dos impactos. Para não ficar exaustivo, estes resultados serão apresentados no Anexo 2.

TABELA 29 - Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Famílias	Controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 (var. % acumulada em 2030)		
	Sem devolução	Devolução do montante da tributação sobre as famílias	Devolução e abatimento de emissões dos setores
	Consumo	Consumo	Consumo
H01	-2.24	-1.92	-1.22
H02	-2.32	-2.01	-1.29
H03	-1.93	-1.62	-1.03
H04	-1.94	-1.62	-1.03
H05	-1.88	-1.55	-0.99
H06	-1.73	-1.41	-0.89
H07	-1.73	-1.41	-0.88
H08	-1.76	-1.43	-0.90
H09	-1.71	-1.38	-0.85
H10	-1.85	-1.51	-0.93

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Em linhas gerais, os resultados indicam que a política de taxação tem efeitos menos intensos sobre a parcela das famílias com maior participação no consumo. Isto se deve ao fato de que a tributação impõe custos adicionais às famílias, principalmente por elevar o preço dos produtos tributados e que fazem parte da cesta de consumo. As famílias com maior renda, apesar de apresentarem uma maior parcela do gasto com combustíveis do que os decis mais baixos têm uma maior capacidade de realocação do consumo. Além disso, são menos atingidas pela política, uma vez que a parcela de seu orçamento em serviços é maior (o consumo de serviços, por exemplo, pelo menor decil de renda é de 26,5%, enquanto as famílias com maior decil consomem 56,5% de serviços). Como serviços têm queda relativa de preços, já que não emitem, o efeito sobre o consumo das famílias mais ricas é menor. Acrescenta-se ainda a menor participação dos produtos agropecuários e alimentícios para este nível de renda. Estes produtos acumulam aumentos de preços em decorrência da tributação sobre os setores da Agricultura e Pecuária. Estas variações mencionadas nos preços podem ser verificadas na tabela 30, que retrata o impacto acumulado em 2030 com a política de meta de redução de emissões de 5% para alguns bens selecionados.

Ainda sobre o impacto no consumo, percebe-se um padrão diferenciado nos resultados ao se especificar cada decil de renda. Como exemplo, pode-se citar o fato de que o decil H02 ser o mais afetado pela política, e H09 ter o menor recuo. Um resultado

interessante é em relação ao decil H10, que mesmo tendo um maior grau de realocação do consumo, apresenta impactos comparáveis aos decis de renda média (H05), em razão da alta participação relativa de bens energéticos em seu consumo, cuja elevação de preço é significativa.

TABELA 30 - Efeitos sobre os preços para as famílias do controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 para bens selecionados. (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Bens	Controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 (var. % acumulada em 2030)		
	Sem devolução	Devolução do montante da tributação sobre as famílias	Devolução e abatimento de emissões dos setores
Lenha	-32.6	-32.5	-31.2
Carvão vegetal	39.9	40.1	25.6
Bovinos e outros animais vivos	26.0	26.5	16.1
Abate e preparação de produtos de carne	2.7	2.8	1.4
Carne suína fresca, congelada ou refrigerada	3.7	3.5	1.9
Carne ave fresca, congelada ou refrigerada	3.3	3.1	1.7
Áçucar	1.9	1.7	0.8
Óleo de soja refinado	1.0	1.1	0.4
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	0.3	0.5	0.0
Arroz beneficiado e produtos derivados	0.1	0.3	-0.1
Carfé torrado e moído	1.1	1.3	0.5
Artigos do vestuário	-4.2	-4.2	-3.0
GLP	10.1	10.7	6.3
Gasolina	16.0	16.6	10.0
Óleo diesel	33.7	34.4	21.0
Querosene	24.7	25.1	14.9
Outros refino de petróleo	33.5	34.0	20.8
Álcool	1.0	1.1	0.3
Energia elétrica	2.9	3.2	1.9
Gás natural	15.4	15.8	9.5
Transporte de passageiro	1.2	1.4	0.7
Serviços imobiliários e aluguel	-4.1	-4.2	-2.9
Serviços prestados às famílias	-4.9	-5.0	-3.6
Educação mercantil	-5.7	-5.8	-4.2

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

De modo análogo ao consumo, a Tabela 31 exhibe os impactos da imposição de uma meta de 5% de emissões sobre a utilidade das famílias, que se configura como uma proxy de impacto de bem-estar. O padrão dos impactos assemelha-se aos mostrados para o consumo, com a diferença que em termos de utilidade, a classe de maior renda (H10), passa a ter a terceira maior queda da utilidade, superando as classes de renda média. A justificativa se centra no fato de que o cálculo da utilidade considera a mudança no consumo de bens de luxo⁷⁴, que é relativamente mais afetado neste decil.

⁷⁴ O cálculo da utilidade desconsidera mudanças de gostos ou variações no consumo de subsistência.

Na tabela 31, encontram-se alguns indicadores que medem a razão de perda da utilidade por faixa de renda. De acordo com os índices, as famílias de mais baixa renda (decil H1), sofrem o maior impacto relativo em termos da utilidade, aproximadamente 1,13 vezes maior do que a maior faixa de renda e 1,18 vezes se comparada à classe H05 de renda média. Entre os cenários simulados, sem devolução e com devolução sob a forma de subsidio ao consumo das famílias, quase não há mudanças nestes indicadores, visto que esta forma de compensação sobre as famílias permite a mudança na realocação do consumo, principalmente das famílias mais ricas.

TABELA 31 - Impactos sobre a utilidade das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Famílias	Controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 (var. % acumulada em 2030)		
	Sem devolução	Devolução do montante da tributação sobre as famílias	Devolução e abatimento de emissões dos setores
	Utilidade	Utilidade	Utilidade
H01	-3.02	-2.58	-1.63
H02	-3.17	-2.74	-1.75
H03	-2.58	-2.14	-1.36
H04	-2.61	-2.17	-1.37
H05	-2.57	-2.12	-1.34
H06	-2.37	-1.92	-1.21
H07	-2.39	-1.94	-1.22
H08	-2.46	-2.01	-1.26
H09	-2.43	-1.98	-1.23
H10	-2.69	-2.23	-1.39
Indicadores			
Decil H01/Decil H10	1.13	1.16	1.18
Decil H01/Decil H05	1.18	1.21	1.22
Decil H05/Decil H10	0.96	0.95	0.97
Variação Coeficiente de GINI	0.5%	0.5%	0.5%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

A última linha da tabela 31 sumariza o resultado final de incidência sobre as famílias da introdução de metas de redução de emissões via tributação de carbono sobre a economia. O coeficiente de GINI mede o grau de desigualdade na distribuição da renda entre os grupos de renda⁷⁵, devido ao imposto de carbono. Os cálculos são baseados nos gastos de cada decil (considerada uma métrica mais consistente) e expressos como alterações percentuais sobre o índice de referência de 2005. Nota-se um aumento de 0,5% no índice em 2030, indicando que a política de restrição de emissões via imposto

⁷⁵ O índice aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos. Numericamente, varia de zero a um, no qual zero corresponde a completa igualdade de renda, e 1 à completa desigualdade.

de carbono é regressiva, consistente com os resultados avaliados no consumo das famílias e utilidade. Além disso, a compensação via subsídio ao consumo não modifica este resultado. Outras opções de políticas de compensação, no entanto, poderiam cumprir este papel, tornando a política mais progressiva. Dentre as opções, amplamente discutidas na literatura, estão a redistribuição lump-sum e a compensação de renda em maior proporção para as famílias mais afetadas pela política.

5.3 Resultados da Política de Melhoria de Eficiência Energética

O objetivo das simulações é projetar os efeitos do progresso tecnológico, em termos do aumento da eficiência energética, sobre a economia e as emissões de GEE.

O cenário simulado diz respeito à projeção dos impactos de estimativas de aumento da eficiência energética baseados em projeções da EPE. Cabe ressaltar que as metas propostas pelo Brasil, de redução de emissões, instituídas pelo Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), incluem várias das ações implementadas por programas de incentivo a eficiência energética, que foram tomados como referência nas projeções da EPE. Tomando como referência as projeções do estudo, assume-se que de 2010 a 2030, é esperado um aumento de eficiência de 8,4% para energia elétrica e 11,3% para não-elétricas, o que equivale a um aumento médio de 0,41% e 0,54% ao ano, respectivamente, com taxas diferenciadas entre os setores, como já foi exposto no capítulo 3.

As simulações referem-se a três cenários. O primeiro, denominado Ef_1, corresponde ao cenário no qual são aplicados choques de aumento da eficiência em conformidade com as projeções da EPE, juntamente com as estimativas dos custos associados às medidas de eficiência energética. Os cenários Ef_2 e Ef_5, por seu turno, representam cenários hipotéticos no qual o aumento da eficiência energética seria duas e cinco vezes maiores do que as projeções baseadas nas estimativas da EPE, respectivamente. Isto corresponderia a um aumento de eficiência acumulado até 2030 de 17,1% para energia elétrica e 22,9% para não elétricas (ou um aumento médio anual de 0,79% e 1,04%, respectivamente) no caso de um aumento da eficiência duas vezes maior. Já ganhos de eficiência cinco vezes mais intensos equivalem a um aumento acumulado de 44,3% para energia elétrica e 60,3% para não elétricas (aumento médio anual de 1,95% e 2,39%, respectivamente). Para se ter uma ideia da magnitude desses ganhos de eficiência

projetados, em 2011 o aumento da eficiência estimado foi de 0,56% para energias elétricas e 0,85% para não elétricas (PDE 2020, 2011). Essas simulações são motivadas pelo potencial de eficiência ainda não explorado no Brasil. Estimativas mostram, por exemplo, que o setor industrial apresenta potenciais significativos no que concerne à energia elétrica, em torno de 39% em 2030 (PNef, 2011). Além disso, há, na indústria, um potencial quase quatro vezes e meia maior para a conservação de energia em combustíveis (fontes não-elétricas) do que em energia elétrica (CNI, 2009).

Com estas simulações, portanto, busca-se capturar o impacto sobre as emissões de cenários em que as políticas de eficiência energética fossem incentivadas mais intensamente, de forma a explorar seu potencial na redução das emissões.

Os resultados, mais uma vez, devem ser lidos como desvios em relação a uma trajetória da economia brasileira (cenário base) na qual a política de aumento da eficiência energética não ocorresse.

Uma nova tecnologia que poupe energia, de acordo com os mecanismos do modelo, implica uma redução do custo de produção por unidade, o que pode ser visto como uma diminuição do preço de energia. A melhoria da eficiência energética traz consigo, portanto, uma redução implícita nos custos, ou nos preços efetivos. Este efeito sobre preço pode ter consequências diretas sobre o consumo das famílias e as exportações. A melhoria também representa um menor uso de insumos energéticos por unidade de produto, o que pode resultar em uma menor demanda por fatores primários, como capital e trabalho. A estes efeitos devem ser ainda adicionados as implicações dos choques referentes aos custos do investimento em medidas de eficiência energética sobre a produção, estimados com base no Plano de Energia de 2030.

O efeito líquido dessas forças, juntamente a outros fatores como a possibilidade de substituição entre bens energéticos, a estrutura de custos dos setores e mesmo a magnitude dos choques em cada setor (vide tabela 8, na seção 3), vão determinar a intensidade e a direção dos resultados agregados, setoriais e por famílias.

5.3.1 Resultados Macroeconômicos

Esta seção analisa os impactos do aumento de eficiência energética sobre as principais variáveis agregadas e também sobre o nível de emissões. Dessa forma, a tabela 32

reporta os resultados das simulações, em termos do desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030. Os resultados apontam que um aumento de eficiência energética de 8,4% para energias elétricas e 11,3% para não-elétricas tem um impacto positivo sobre o PIB em relação ao cenário base, de 0,25% acumulado em 2030, atrelado a uma queda das emissões totais de 2,6% (cenário Ef_1). No caso em que se considera que a política alcance uma efetividade duas e cinco vezes maior em termos dos ganhos de eficiência, o impacto sobre o PIB seria de 0,41% e 0,92%, respectivamente, e uma redução de emissões de 5,2% e 11,2%, resultado que pode ser considerado expressivo. Percebe-se, contudo, que à medida que a melhoria de eficiência se intensifica, o efeito sobre o PIB e emissões é decrescente relativamente ao cenário Ef_1. Isto pode ser resultado dos custos relativamente mais altos impostos com a introdução de medidas de eficiência mais ambiciosas.

TABELA 32 - Impactos macroeconomicos do aumento de eficiência energética sobre a economia. (var.% em 2030 – desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
PIB real	0.25	0.41	0.92
Consumo das Famílias	-0.42	-0.83	-0.95
Investimento	-1.37	-2.80	-6.20
Exportações	2.73	5.05	9.34
Importações	-2.37	-4.52	-8.20
Emprego	-0.62	-1.24	-2.57
Salário real	-4.4	-8.6	-16.8
Pagamento aos fatores primários			
Rentabilidade do capital	-6.4	-11.7	-21.8
Rentabilidade da terra	-3.2	-6.6	-13.1
Redução total das emissões	-2.6	-5.2	-11.2

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Nota-se que mesmo considerando o custo médio de medidas de eficiência energética do ponto de vista do mercado - introduzidos através de um aumento nos custos de produção dos setores - medidas de eficiência energética têm um impacto positivo sobre o PIB (custo negativo, conforme aponta a literatura). Vale destacar que nas simulações não são considerados os custos econômicos de políticas financiadas pelo governo, que também poderiam repercutir sobre o PIB.

Melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia necessário para produzir um determinado serviço de energia. Via de regra, a melhoria representa um menor uso de insumos energéticos por unidade de produto, o que resulta, conforme os resultados das simulações, em uma menor demanda por fatores primários, como capital e trabalho (vide queda da rentabilidade dos fatores na tabela 32). Como a composição de fatores primários é determinada por uma estrutura Leontief e o crescimento do emprego tendencial é fixado em 3% ao ano (cenário base), os setores mais capital-intensivos apresentam uma diminuição de capital (o capital pode crescer menos intensamente), e como consequência é preciso menos investimento. Soma-se ainda o impacto do aumento dos custos de produção introduzidos nas simulações a partir de estimativas do custo de medidas de eficiência energética. Esse aumento de custos também tem repercussões sobre o nível de demanda dos fatores e do efeito líquido destes determinantes resulta na queda relativa do investimento agregado.

Esse é um resultado intuitivo: com a elevação da eficiência energética a economia passa a crescer mais com menor necessidade de investimento, e reduz suas emissões de GEE. Os resultados indicam que os ganhos de eficiência energética elevam o PIB e reduzem as emissões numa proporção de 1 para 12 (o PIB se eleva em 0,4% para uma queda de emissões de 5%). Os resultados indicam que o coeficiente de emissões/PIB cairia de -3% a -12% como resultado das políticas de eficiência energética.

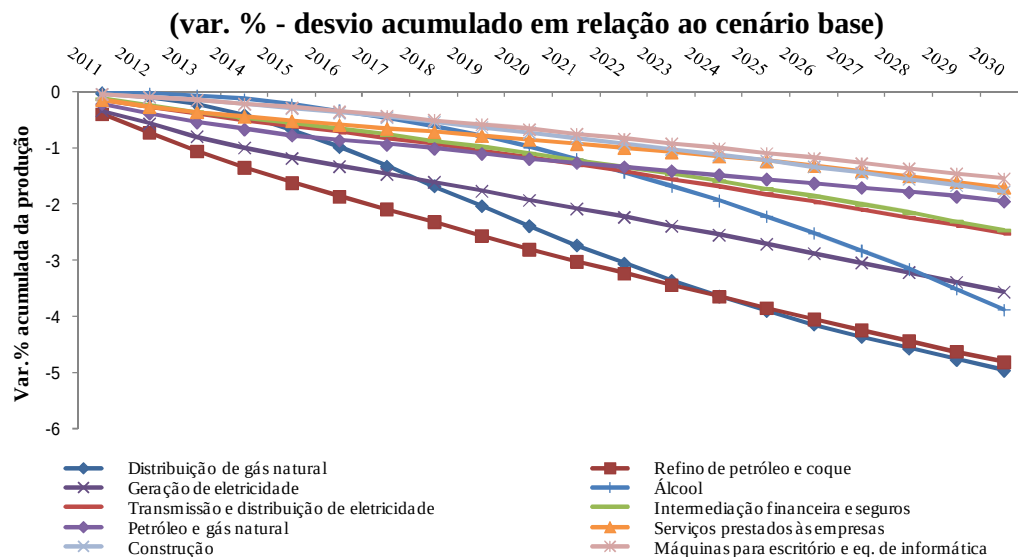
Apesar da queda de preços, sobretudo sobre dos bens energéticos, o consumo agregado das famílias também se depara com reduções em todos os cenários. Podia-se esperar, conforme aponta a literatura, um efeito “rebound”, no qual ganhos de eficiência e consequente redução de preços, tem um efeito de estímulo ao consumo, inclusive de bens energéticos. Isso até acontece para alguns decis de renda, que serão mais bem analisados nos resultados para as famílias. Mas para a maioria dos decis ocorre uma queda do consumo, devido à queda do emprego, do salário real e da rentabilidade dos demais fatores primários, que compõe a renda das famílias.

Por outro lado, as exportações tendem a se beneficiar, dado que a redução dos custos de produção tornam as exportações mais competitivas no mercado internacional, e sob curvas de demanda negativamente relacionadas aos custos as exportações se elevam

5.3.2 Resultados Setoriais

Esta seção analisa os principais setores impactados pela política de melhoria de eficiência energética. A figura 44 apresenta os impactos sobre a produção dos setores mais afetados pela política no cenário Ef_1. Apresentar-se-á mais pormenorizadamente os impactos relativos ao cenário Ef_1. Isto se justifica pelo fato de que os resultados para os demais cenários são similares em termos de ordenamento dos setores mais e menos afetados, tornando a análise desta forma menos repetitiva.

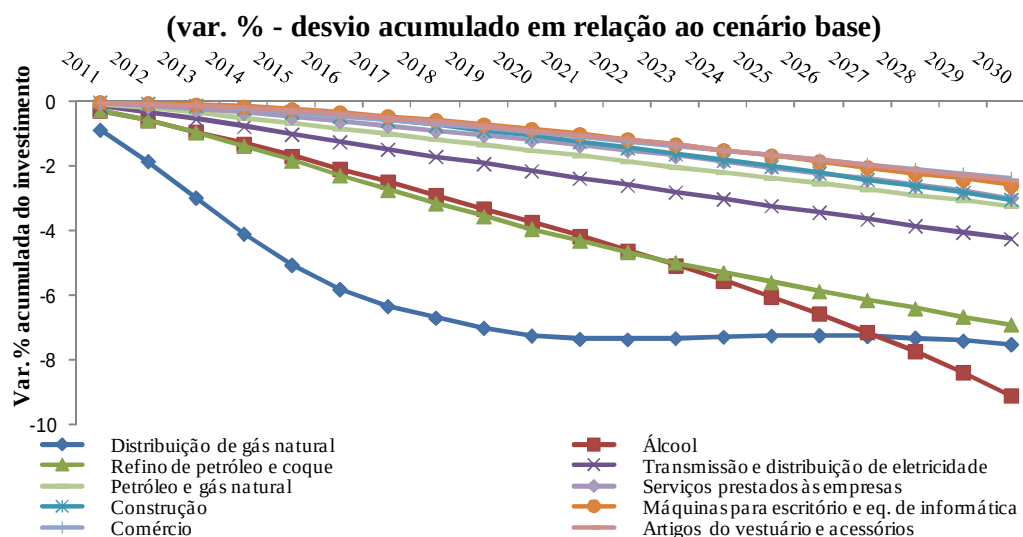
FIGURA 44 - Impactos nos setores mais afetados pelo aumento da eficiência energética sobre o nível de produção setorial – cenário Ef_1



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Nota-se pela Figura 44, que os setores mais prejudicados pela política em termos de produção incluem aqueles cujos choques de eficiência foram mais intensos, culminando em reduções mais acentuadas na demanda por fatores primários, principalmente nos setores energéticos capital-intensivos, como Distribuição de gás natural, Refino de petróleo e coque, Geração de eletricidade, Álcool, Transmissão e distribuição de eletricidade e Petróleo e gás natural. Setores de serviços, como Interação financeira e Serviços prestados às famílias e Construção também tem queda mais destacada em razão dos custos relativamente mais altos impostos para o investimento em medidas de eficiência (Figura 45).

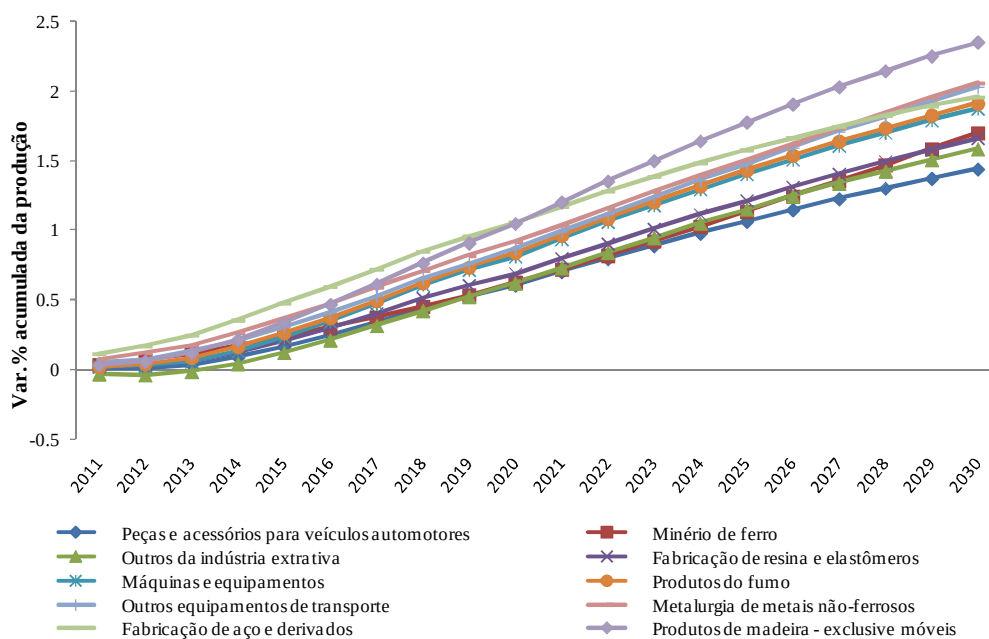
FIGURA 45 - Impactos investimento setorial do aumento da eficiência energética



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Em contrapartida, pode-se também avaliar os resultados dos setores relativamente beneficiados pela política (Figura 46). Dentre eles estão setores da indústria extrativa (Minério de ferro, Outros da indústria extrativa) e da indústria de transformação, tais como Produtos de madeira, Fabricação de aço e derivados, Metalurgia de metais não-ferrosos e Outros equipamentos de transporte, por exemplo.

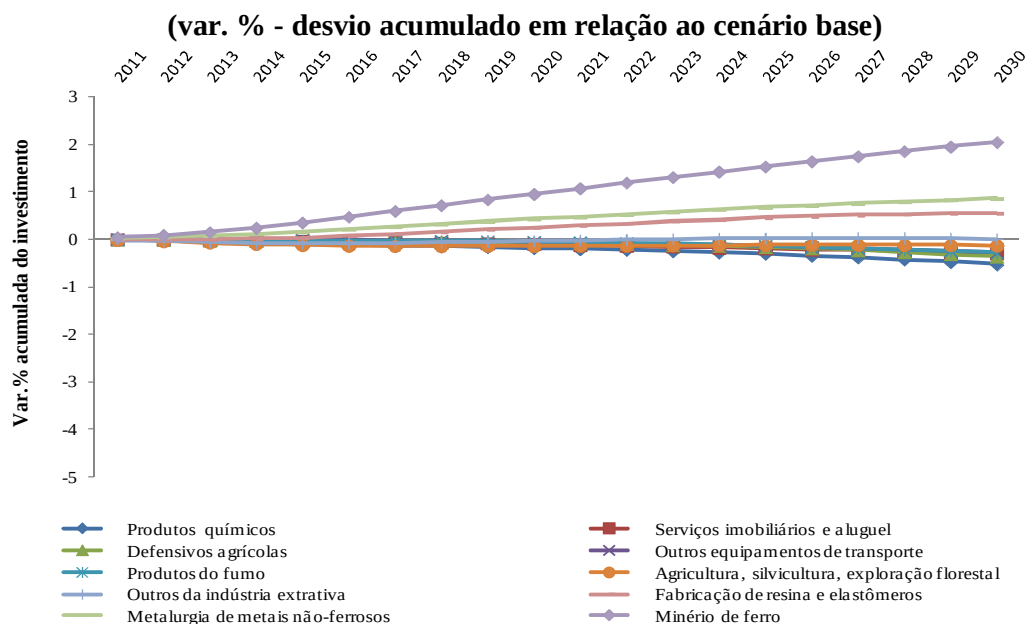
FIGURA 46 - Impactos sobre a produção setorial do aumento da eficiência energética (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

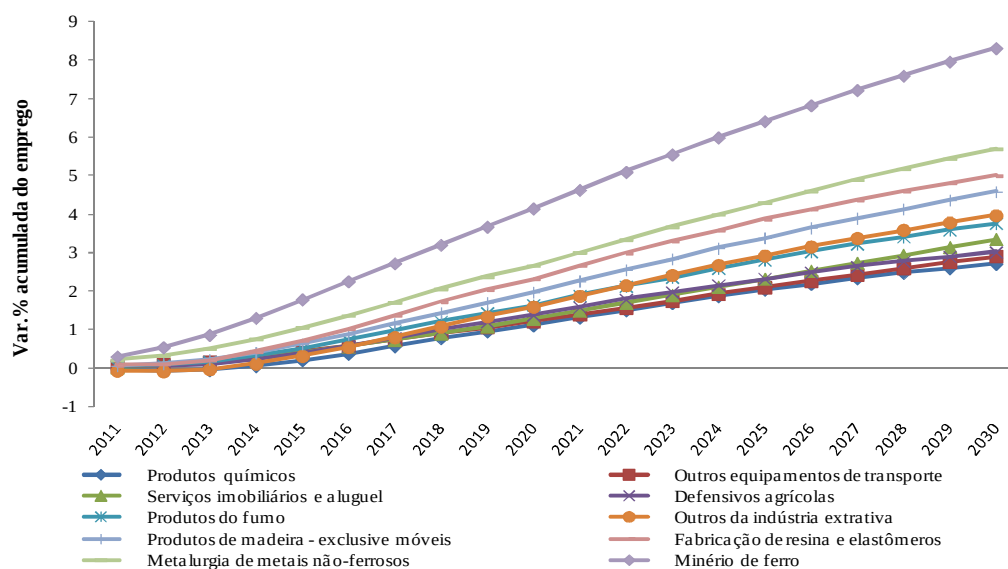
Esses setores se favorecem com a redução dos custos e o aumento da demanda de fatores primários, como capital e trabalho, que repercute sobre o nível de investimento, mostrado na Figura 47 e sobre o nível de emprego (Figura 48).

TABELA 47 - Impactos sobre o investimento setorial do aumento da eficiência energética



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

FIGURA 48 - Impactos sobre o emprego setorial do aumento da eficiência energética (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.3.2.1 Resultados dos Setores estruturados por Vetores Tecnológicos

Os resultados relativos aos setores estruturados por vetores tecnológicos são apresentados nesta subseção. Conforme já salientado, a escolha da produção dos setores de Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados é definida a partir de vetores tecnológicos de produção. Na Tabela 33 são apresentados os resultados das modificações nas tecnologias de produção setorial decorrentes da política de melhoria de eficiência energética, a partir dos impactos acumulados em relação ao cenário base em 2030. Os resultados sugerem que o aumento da eficiência tem efeitos positivos sobre a tecnologia de Arcos elétricos (com exceção do cenário Ef_5), mas principalmente sobre Alto-forno. Isso decorre tanto dos choques (que são mais elevados no caso de usos não-elétricos, como combustíveis) que reduzem os custos de produção, quanto devido a um maior investimento no setor, decorrentes da maior demanda por fatores primários. No cenário Ef_5, verifica-se uma redução da tecnologia de produção de Arcos elétricos pelo fato do efeito substituição ser intenso ao ponto de reverter o efeito positivo antes verificado sobre a tecnologia.

TABELA 33 - Modificações nas tecnologias de produção setorial decorrentes da política de melhoria de eficiência energética (var. % acumulada em 2030).

Setores	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
Fabricação de Aço e Derivados			
Arcos elétricos	0.4	0.5	-1.9
Alto-forno	1.9	3.6	6.8
Geração de eletricidade			
Hidroeletrica	-3.0	-5.8	-13.6
Termo a carvão	-1.5	-3.0	-7.5
Termo a gás	0.2	0.3	0.8
Eólica	-3.5	-6.7	-15.6
Nuclear	-1.6	-3.1	-7.1
Termo a óleo combustível	-0.4	-0.7	0.5
Termo a óleo diesel	2.8	5.6	15.0
Biomassa	-1.0	-2.0	-5.1

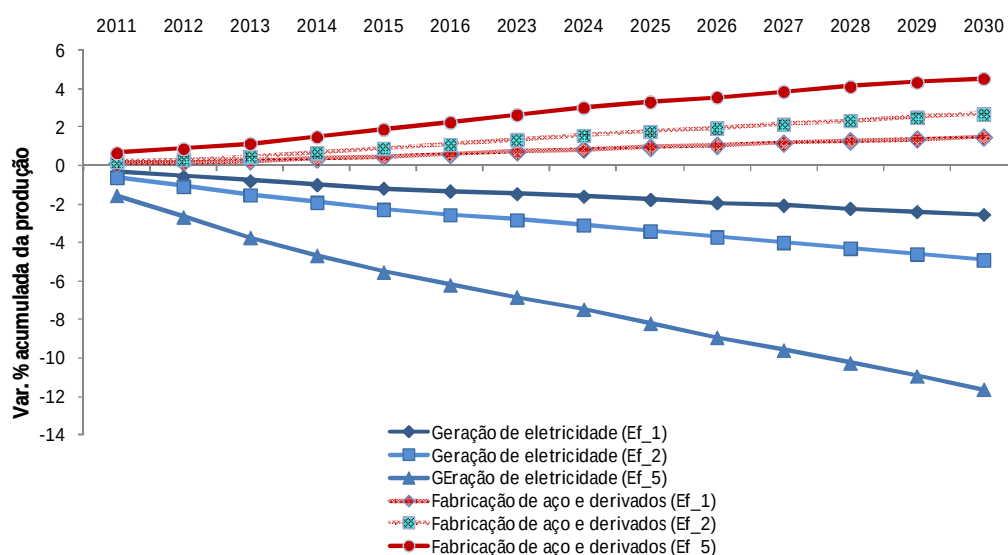
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

No tocante ao setor de Geração de eletricidade, ganhos de eficiência tem impactos positivos sobre a produção das tecnologias Termo a gás e Termo a óleo diesel. Estas tecnologias se beneficiam pelo efeito substituição, decorrente dos menores preços

relativos das tecnologias ligadas a combustíveis fósseis. O efeito substituição também elucida o resultado negativo das tecnologias hidroelétricas e eólicas, que são intensivas em eletricidade.

A variação da produção dos setores estruturados por estes vetores pode ser sintetizado na Figura 49, que ilustra a trajetória para os diferentes cenários. Dada a variação positiva das tecnologias no setor de Fabricação de aço e derivados, notadamente da tecnologia de Alto-forno (que responde por 78% da produção), o resultado setorial é positivo para todos os cenários. Para o setor de Geração de eletricidade, a queda das tecnologias Hidroelétricas, Termo a carvão, Biomassa e Nuclear conduzem a variação negativa enfrentada pelo setor.

FIGURA 49 - Variação da produção dos setores estruturados por vetores tecnológicos para diferentes cenários das simulações



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.3.3 Resultados das Emissões por combustíveis

Os resultados por combustíveis possibilita analisar as reduções de emissões mais relevantes por fontes, decorrentes da política de eficiência energética. A tabela 34 reporta as variações acumulados em 2030 e a sua contribuição para a redução total de emissões, em cada cenário simulado.

Carvão vegetal, Lenha e Coque, nessa ordem, respondem pelas maiores variações acumuladas em 2030, principalmente para os dois primeiros cenários simulados, embora em termos da contribuição para o resultado final de redução de emissões - que leva em conta a participação das emissões de cada fonte - Óleo diesel, Carvão mineral, Gasolina e Carvão vegetal são as fontes de maior destaque. Além disso, é razoável esperar a variação positiva verificada para as emissões de “Atividade”, uma vez que sobre ela não incidem diretamente os choques de eficiência energética (os choques representam modificações no consumo intermediário de energias não-elétricas e elétricas; e também no consumo das famílias).

TABELA 34 - Variação acumulada das emissões e contribuição por fontes emissoras, decorrentes da política de melhoria de eficiência energética (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Emissores	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)					
	Simulações					
	Ef_1		Ef_2		Ef_5	
	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição
Carvão Metalúrgico	-11.5	5.63%	-21.8	5.42%	-46.2	5.15%
Carvão Mineral	-9.0	15.81%	-17.1	15.39%	-37.5	15.11%
Lenha	-4.9	5.84%	-9.7	5.86%	-22.6	6.12%
Carvão Vegetal	-10.9	11.95%	-20.5	11.44%	-42.9	10.71%
Bagaço de Cana	-3.8	3.37%	-7.6	3.40%	-18.0	3.62%
Petróleo e Gás Natural	-5.0	2.38%	-9.7	2.35%	-22.3	2.40%
GLP	-3.6	1.74%	-7.0	1.72%	-14.8	1.64%
Gasolina	-5.2	14.44%	-9.9	14.01%	-20.9	13.31%
Óleo Combustível	-7.9	6.60%	-15.2	6.46%	-33.0	6.28%
Óleo Diesel	-5.8	23.88%	-11.4	23.84%	-25.9	24.18%
Querosene	-7.1	4.30%	-13.9	4.29%	-31.0	4.28%
Coque	-10.0	6.28%	-19.0	6.11%	-41.1	5.91%
Outros Refino de Petróleo	-1.8	1.23%	-3.6	1.25%	-8.3	1.31%
Álcool	-4.4	2.59%	-8.4	2.53%	-18.5	2.48%
Atividade produtiva	0.2	-6.04%	0.3	-4.07%	0.4	-2.50%
Redução total das emissões	-2.6	100%	-5.2	100%	-11.2	100%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Para finalizar esta seção, apresentam-se as mudanças de participação das fontes emissoras na matriz de emissões entre a base de dados inicial (2005) e os impactos projetados para cada um dos cenários (Tabela 35). As principais quedas de participação ficam por conta de Gasolina e Óleo diesel, que recuam 2,1 pontos percentuais, cada

fonte. Como esperado, Atividade produtiva é o principal emissor de GEE e apresenta aumentos de participação na matriz de emissões brasileira, em razão do aumento relativo de suas emissões.

TABELA 35 - Participação das fontes emissoras para cada cenário simulado em 2030.

Emissores	Base de dados inicial (2005)	Simulações de aumento da eficiência energética (part. % em 2030)		
		Ef_1	Ef_2	Ef_3
Carvão Metalúrgico	1.2	0.5	0.4	0.3
Carvão Mineral	4.3	3.7	3.7	3.3
Lenha	2.9	3.6	3.2	2.5
Carvão Vegetal	2.6	3.2	3.0	2.4
Bagaço de Cana	2.1	1.9	1.9	1.8
Petróleo e Gás Natural	1.1	1.2	1.2	1.2
GLP	1.2	1.3	1.3	1.2
Gasolina	6.7	6.0	5.7	4.6
Óleo Combustível	2.0	2.0	1.9	1.7
Óleo Diesel	9.9	9.2	8.5	7.8
Querosene	1.5	0.8	0.7	0.6
Coque	1.5	1.7	1.7	1.7
Outros Refino de Petróleo	1.7	1.7	1.7	1.6
Álcool	1.4	1.3	1.3	1.2
Atividade produtiva	60.0	60.5	62.2	67.1
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

5.3.4 Resultados por grupos de famílias

Um resultado bastante discutido na literatura é a incidência distributiva das políticas climáticas. Também para a política de eficiência energética, o modelo BeGreen permite analisar a incidência sobre os grupos de famílias, classificadas segundo decis de renda. A tabela 36 mostra os impactos sobre o consumo das famílias, como desvios acumulados em relação ao cenário base em 2030. Vale lembrar que os resultados não representam quedas absolutas do consumo ou bem-estar, mas sim, reduções relativas ao cenário base.

Para o caso da política de aumento da eficiência energética, os resultados sugerem que a política tem efeitos negativos sobre o consumo das classes de renda mais altas vis-à-vis

impactos menos intensos ou até positivos sobre as famílias de baixa renda (H01, H02 e H03). Tal resultado é explicado pela composição das compras das famílias em cada decil de renda e também pela queda do emprego e salário real, que tem impactos sobre a renda.

TABELA 36 - Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base).

Famílias	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
	Consumo	Consumo	Consumo
H01	-0.06	-0.21	0.07
H02	0.13	0.20	1.13
H03	-0.12	-0.26	0.07
H04	-0.17	-0.34	-0.07
H05	-0.21	-0.41	-0.22
H06	-0.33	-0.61	-0.64
H07	-0.37	-0.69	-0.82
H08	-0.43	-0.80	-0.97
H09	-0.52	-1.00	-1.32
H10	-0.59	-1.19	-1.50

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Mesmo considerando os custos com os investimentos em medidas de eficiência, de modo geral, os ganhos de eficiência energética acarretam em queda de preços dos produtos. Essa queda atinge a grande maioria dos bens, com impactos diferenciados entre bens alimentícios, energéticos e de serviços. Apenas alguns serviços apresentaram aumentos de preços, devido aos custos impostos pelas medidas de eficiência energética: Serviços de informação, Instituição financeira e seguros, Serviços prestados a empresas, Educação mercantil e Saúde mercantil (ver tabela 37). Apesar da redução mais acentuada dos preços energéticos (bens energéticos representam menos de 10% do consumo), como as famílias de mais alta renda tem um gasto proporcionalmente maior com serviços e também se beneficiam com menor intensidade da queda dos produtos alimentícios e de vestuário, elas experimentam uma maior redução relativa do consumo em relação ao cenário base. Por outro lado, os resultados positivos encontrados nos decis mais baixos de renda são resultado do maior consumo de bens alimentícios, notadamente.

A tabela 37 retrata os efeitos acumulados em 2030 sobre os preços para as famílias de bens selecionados. Nota-se a expressiva redução nos preços de bens energéticos, e a elevação dos preços de serviços.

TABELA 37 - Efeitos sobre os preços para as famílias do aumento da eficiência energética para bens selecionados. (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Bens	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
Lenha	-17.0	-30.5	-56.9
Carvão vegetal	-15.1	-28.1	-57.0
Bovinos e outros animais vivos	-4.5	-8.4	-15.3
Abate e preparação de produtos de carne	-2.5	-4.4	-7.9
Carne suína fresca, congelada ou refrigerada	-2.7	-4.8	-8.6
Carne ave fresca, congelada ou refrigerada	-2.2	-4.0	-7.1
Áçucar	-2.1	-3.6	-6.6
Óleo de soja refinado	-2.9	-5.1	-9.0
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	-2.9	-5.1	-8.9
Arroz beneficiado e produtos derivados	-3.0	-5.2	-9.2
Carfé torrado e moído	-3.5	-6.2	-11.0
Artigos do vestuário	-1.7	-3.0	-5.3
GLP	-8.2	-15.1	-31.0
Gasolina	-11.9	-21.3	-41.0
Óleo diesel	-14.5	-26.2	-50.2
Querosene	-9.8	-18.0	-36.4
Outros refino de petróleo	-3.1	-5.5	-9.2
Álcool	-13.8	-24.6	-46.2
Energia elétrica	-12.8	-23.2	-44.4
Gás natural	-12.4	-22.5	-43.4
Transporte de passageiro	-3.5	-5.5	-9.2
Serviços imobiliários e aluguel	-1.9	-3.0	-6.2
Serviços de informação	5.9	6.5	28.1
Instituições financeiras e seguros	1.7	3.5	8.1
Serviços prestados às empresas	0.7	1.0	2.4
Educação mercantil	1.7	4.7	14.1
Saúde mercantil	0.5	1.3	1.2
Serviços prestados às famílias	-0.8	-1.3	-4.2

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Os impactos sobre a utilidade das famílias podem ser visualizados na tabela 38. O padrão dos resultados é similar aos apresentados para o consumo, no qual as famílias de mais baixa renda são relativamente favorecidas pelas medidas de eficiência energética. O resultado importante a se ressaltar é o indicador que mede a variação do coeficiente de GINI. Embora a política quase não modifique o coeficiente (variação marginal de -0,01%), o indicador e os resultados sugerem que a política é não-regressiva, um indicador importante para os formuladores de política.

TABELA 38 - Impactos sobre a utilidade das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Famílias	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
	Utilidade	Utilidade	Utilidade
H01	-0.13	-0.37	0.00
H02	0.31	0.53	2.24
H03	-0.11	-0.24	0.44
H04	-0.18	-0.37	0.21
H05	-0.20	-0.39	0.18
H06	-0.38	-0.69	-0.44
H07	-0.44	-0.81	-0.68
H08	-0.51	-0.95	-0.86
H09	-0.65	-1.23	-1.34
H10	-0.73	-1.48	-1.52
Indicador			
Variação Coeficiente de GINI	-0.01%	-0.01%	-0.01%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

CONCLUSÕES

O objetivo desta Tese foi avaliar alternativas de políticas de mitigação, ou de baixo carbono, para o caso brasileiro, que nos últimos tempos têm sido amplamente discutidas e adotadas em diversos países. O fortalecimento das evidências das mudanças climáticas, tendo como causa mais provável as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE), e as projeções quanto às possíveis consequências desse fenômeno, têm culminado em uma série de debates e conferências para tratar das responsabilidades, metas, políticas de adaptação e, sobretudo, mitigação desta externalidade global.

A problemática tratada nesta tese é uma decorrência de uma das mais complexas e difusas externalidades ambientais: as emissões de GEE. A elucidação dos principais elementos envolvendo as causas e as consequências da acumulação desses gases, atrelado a apreciação das principais discussões internacionais acerca da mudança do clima, externam a relevância de se considerar esta questão nas decisões da sociedade brasileira.

Também motivada pela Política Nacional da Mudança do Clima (PNMC, 2009) e pela Política Nacional de Eficiência Energética (PNeF, 2011) adotadas no Brasil, foram analisados os potenciais impactos de metas de redução de emissões e melhoria de eficiência energética sobre a economia brasileira. Para cumprir a estes propósitos, desenvolveu-se um modelo de equilíbrio geral computável, denominado BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*). O modelo é inovador em alguns aspectos, como na sua ampla desagregação de produtos energéticos, setores e fontes de emissão de GEE, na incorporação de mecanismos de dinâmica recursiva, e notadamente, na especificação ambiental e energética. O módulo ambiental contabiliza explicitamente as emissões para cada fonte e setor do modelo, incluindo o residencial, e possui mecanismos que permitem tributação de carbono, devolução das receitas desse imposto, e respostas de abatimento (redução) endógena de emissões em resposta a políticas de taxaço.

No que tange à especificação da tecnologia de setores energéticos, o modelo inova ao utilizar em sua estrutura de produção setores modelados por vetores tecnológicos e setores com possibilidades de substituição entre diferentes fontes de energia: renováveis, não renováveis e de auto-geração.

Uma das políticas analisadas foi a imposição de metas de redução de emissões do uso de combustíveis e das atividades produtivas, que correspondem a cerca de 40% do total das emissões no Brasil em 2005. O estudo da incidência de políticas específicas sobre estas fontes de emissão, a partir de mecanismos preço-induzidos, como a taxaço de carbono e comércio de permissões de emissões, se tornam prementes em razão das perspectivas de aumento das emissões de GEE no Brasil, produzidas pelo setor energético, os transportes e o refino de petróleo. O modelo calcula endogenamente um imposto, ou preço do carbono, necessário para se atingir determinada meta de redução de emissões no cenário 2012-2030, e consequentemente todos os impactos em termos de custos de produção, atividade econômica e bem-estar. No caso brasileiro, os resultados apontam que metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”. A estratégia de uma meta ambiciosa em um curto período de tempo imporia um custo muito elevado para a economia brasileira.

Tais custos, entretanto, poderiam ser atenuados a partir de algumas opções de políticas avaliadas por esta tese. Dentre elas, estão as políticas de redistribuição da receita arrecadada e as promotoras do avanço tecnológico (em termos de processos produtivos que emitem menos GEE). Nesta tese simulamos a “devolução” das receitas do imposto de carbono através de um subsídio ao consumo das famílias. O resultado mostrou que mesmo uma devolução de apenas 5% do total arrecadado tem impactos não desprezíveis sobre o custo da política (no caso da meta de 5%, por exemplo, a queda do PIB se reduziria de -0,91% para -0,82%). Outras opções de distribuição da receita poderiam ser mais significativas, sobretudo se considerarmos os efeitos distributivos da política. A distribuição *lump-sum* é uma opção quase unânime na literatura. Diversos países da Europa já têm instituídas políticas de taxaço de carbono a mais de 20 anos, e inclusive em algumas delas, há redução em outras taxas e redistribuição da receita para setores mais afetados. A Suécia e a Dinamarca, por exemplo, são uns dos poucos países a atingirem suas metas de redução do Protocolo de Quioto a partir de políticas de taxaço e de desenvolvimento tecnológico mais incisivo.

Os cenários de progresso tecnológico endógeno induzidos pela taxaço de carbono destacam a relevância desta possibilidade para os objetivos da política. Esse resultado mostra que a adoção de políticas tecnológicas que possam dar suporte às práticas de

inovação nos setores potencializaria a efetividade da política. Assim, linhas de crédito aliado a políticas industriais, que viabilizem a inovação tecnológica e científica com o objetivo de redução no uso de combustíveis ou maior eficiência energética, são algumas das opções que poderiam tornar esse cenário mais provável. Isto posto, para se ter uma ideia da importância dessa questão, o custo da redução das emissões praticamente se reduz a metade (em pontos percentuais), considerando este cenário.

Se a política de taxação sobre as emissões evoluísse para uma política de “*cap-and-trade*”, no qual a comercialização de permissões de emissões fosse possível entre os setores, poderia se atingir a solução ideal de custo-efetividade para políticas preço-induzidas, conforme aponta a literatura amplamente apreciada nesta tese. A experiência adquirida pelo Brasil no âmbito do mercado de créditos de carbono do MDL, conjugado ao estudo de exemplos internacionais já em prática (EU-ETS e Nova Zelândia, por exemplo), pode ser o ponto de partida institucional e prático para a criação de um mercado brasileiro de carbono. Pelo menos inicialmente, esta parece ser a arquitetura mais provável pós-Protocolo de Quioto, na qual mercados regionais já existentes estabelecem ligações formais a fim de minimizar custos e aumentar a eficiência ambiental da política.

No Brasil já existem mecanismos de mercado de carbono para o fomento de projetos do MDL, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) lançou as bases para a implantação de um sistema para a negociação de créditos de carbono na Bolsa de Mercadorias & Futuros (Bm&F), denominado Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE). Um projeto-piloto de mercado de carbono entre estados que já apresentam iniciativas de registro público de emissões de GEE (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro) poderia ser um primeiro passo para a maior factibilidade dessa política, a exemplo do que foi proposto pela China. Poderia ser também estudada a possibilidade da inclusão, nesse mercado de carbono, de certificados de redução de emissões originados do reflorestamento em outros estados brasileiros, a exemplo do que ocorre na Nova Zelândia. Além disso, a criação de um mercado conjunto evita uma tendência de timidez nestas iniciativas regionais, pois a adoção de limitação de emissões poderia criar custos de produção maiores em uma região, diminuindo a competitividade da produção local e gerando objeções políticas quanto à sua implantação.

Também se pode destacar a importância das emissões ligadas ao nível de atividade produtiva para a economia brasileira, especialmente da agricultura e pecuária. Políticas de taxação de emissões, por exemplo, seriam mais eficientes se incidissem sobre as emissões associadas à atividade produtiva e não apenas sobre o uso de combustíveis fósseis. Essa configuração, contudo, implicaria em elevação dos preços dos bens alimentícios, com potencial efeito negativo sobre as classes de renda mais baixas.

Os efeitos da política de precificação de carbono no Brasil tendem a ser bastante heterogêneos entre os setores. Quando avaliados sobre o ponto de vista da produção, a política de metas de redução de emissões afeta mais intensamente tanto os setores mais intensivos no uso de combustíveis como os produtores destes, tais como Refino de petróleo e coque, Fabricação de aço e derivados e Petróleo e gás natural. Alimentos e bebidas e o setor da Agropecuária são também afetados, porém em menor grau. Em compensação, os resultados sugerem que outros setores podem ser beneficiados pela mudança dos preços relativos, como os setores de serviços.

O impacto distributivo sobre as famílias das políticas de baixo carbono é um resultado novo no âmbito da literatura brasileira, apresentado nesta Tese. Em termos dos efeitos sobre as classes de renda, o imposto sobre o carbono é moderadamente regressivo tanto quando medido em termos das variações do consumo e utilidade, quanto nas mudanças do coeficiente de Gini, com base em padrões de consumo das famílias. Esse resultado se alinha aos encontrados para vários países, conforme discutido nesta tese. Políticas de compensação, no entanto, poderiam cumprir um objetivo mais equitativo, tornando a política mais progressiva ou menos regressiva. Dentre as opções estão a redistribuição *lump-sum* e a compensação de renda em maior proporção para as famílias mais afetadas pela política.

Os resultados apontados pela política de melhoria da eficiência energética, por seu turno, são promissores. Com a elevação da eficiência energética a economia passa a crescer mais, reduzindo suas emissões de GEE, mesmo considerando alguns de seus custos. Os resultados indicam que os ganhos de eficiência energética elevam o PIB e reduzem as emissões numa proporção de 1 para 12 (o PIB se eleva em 0,4% para uma queda de emissões de 5%). Os resultados projetam que o coeficiente de emissões/PIB cairia de -3% a -12% como resultado das políticas de eficiência energética. Em termos

distributivos, os resultados sugerem que a política é não-regressiva, um indicador importante nas considerações de uma política.

Não obstante os efeitos potenciais positivos dessa política, muitos parecem ser os obstáculos impostos para sua efetiva execução. O próprio Plano Nacional de Eficiência Energética (PNef, 2011) destaca a falta de informações, a visão de curto prazo do empresariado brasileiro na aplicação de recursos e amortização dos investimentos, a ausência de cultura de gestão energética e a escassez de crédito, como empecilhos para o alcance do potencial de eficiência energética que o Brasil possui. Assim, investimentos do setor privado em tecnologias de “baixo carbono” devem requerer incentivos que tornem atraentes estas opções. Se uma tecnologia de baixo carbono possui custo maior que a usual, ou demanda maiores investimentos, dificilmente os setores produtivos estariam interessados a utilizá-la.

Uma análise para além dos resultados obtidos por esta tese sugere que a política de mitigação de GEE no caso brasileiro deve necessariamente incluir o controle do desmatamento como uma das principais frentes para os objetivos de custo-efetividade de uma política climática, conforme já delineado na Política Nacional da Mudança do Clima.

Um trabalho como este, abordando um tema complexo e relativamente novo, não deixa de ter suas limitações. Uma delas refere-se à hipóteses da metodologia, que é baseada em um modelo com retornos constantes de escala e sem mecanismos endógenos de mudança tecnológica, que potencialmente reduziriam a intensidade de emissões do uso de combustíveis fósseis em simulações de políticas de mitigação, como as desta Tese. Essas limitações também são responsáveis pelos custos de mitigação relativamente mais altos que os encontrados em outros estudos. Pode-se conjecturar hipoteticamente que os resultados desta tese sejam o “limite superior” dos custos que seriam impostos à economia brasileira com políticas de mitigação de GEE, dadas essas hipóteses restritivas da modelagem. Outro ponto a se ressaltar é que o modelo não distingue as emissões por diferentes gases de efeito estufa, embora os contabilize, como a maior parte dos estudos, a partir da transformação das emissões desses gases em uma unidade comum (CO₂ equivalente). Além disso, não são considerados os benefícios que a mitigação de gases de efeito estufa poderiam implicar, devido à dificuldade e incerteza

envolvidas na mensuração dos possíveis impactos que seriam causados pelas mudanças climáticas.

Algumas considerações acerca de aperfeiçoamentos a partir desta Tese podem ser elencadas. Alguns avanços responderiam às hipóteses de retornos constantes de escala mencionadas anteriormente. Nesse ponto, um aperfeiçoamento seria a inclusão de retornos crescentes de escala, para setores que empiricamente apresentassem esta característica. Se o modelo adotasse retornos crescentes de escala provavelmente poder-se-ia tentar projetar qual seria a tributação necessária para se estabilizar as emissões de GEE na economia brasileira, mesmo num cenário de crescimento econômico. Outro avanço na especificação teórica do modelo seria um módulo que capturasse os efeitos de políticas de “*cap-and-trade*” entre setores da economia brasileira, notadamente os intensivos em uso de combustíveis, a fim de simular políticas semelhantes à europeia (EU-ETS). Outro desdobramento seria mensurar os efeitos de novas formas de distribuição da receita arrecadada com o imposto de carbono, e seu impacto distributivo sobre as famílias, com destaque para a transferência *lump-sum*. E por fim, espera-se avançar na estimação de elasticidades chaves relacionadas à substituição energética, principalmente aquelas relacionadas à substituição entre tecnologias, conforme sugere a análise de sensibilidade realizada nesta tese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASNESS, J.; BYE, T.; MYSEN, H.T. 1996. Welfare effects of emission taxes in Norway. *Energy Economics*, v.18, p. 335–346, 1996.
- ABADIE, L. M.; CHAMORRO, J. M. European CO2 prices and carbon capture investments. *Energy Economics*. v. 30 n. 6, p. 2992–3015, 2008.
- ABARE. *The Megabare Model: Interim Documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. Canberra, 1996, 71 p.
- ABBOUD, L. An exhausting war on emissions: Norway's efforts to contain greenhouse gases move forward—and backfire. *Wall Street Journal*, September 30, 2008. Disponível em: <<http://online.wsj.com/article/SB122272533893187737.html>> Acesso em Junho de 2012.
- ADAMS, P. D.; HORRIDGE, M.; PARMENTER, B. R. MMRF-GREEN: *A Dynamic, Multi-sectoral, Multi-regional Model of Australia*. Australia: Monash University, Centre of Policy Studies, Impact Project, 2000.
- ADAMS, P.; PARMENTER, B. *Economic Forecasting*. Sydney: Allen and Unwin Academic., 2000.
- ADAMS, P.D; HORRIDGE, J.M; WITTEWER, G. MMRF-GREEN: *A Dynamic Multi-regional Applied General Equilibrium Model of the Australian Economy, Based on the MMR and MONASH models*. Monash University, Centre of Policy Studies. 70 p. Nov. 2002.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil* (2a Edição). Brasília: ANEEL, 2005, 243 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Pré-sal demanda US\$ 400 bilhões até 2020*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=60260&m=pré-sal&t1=&t2=pré-sal&t3=&t4=&ar=0&ps=11&cachebust=1355584891682>. Atualizado em 09/05/2012 (Acesso em Dezembro de 2012).
- ALBEROLA, E.; CHEVALLIER, J. European carbon prices and banking restrictions: evidence from phase I (2005–2007). *Energy Journal*, v. 30, n. 3, p. 51–80, 2009.
- ALBEROLA, E.; CHEVALLIER, J; CHEZE, B. Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005-2007. *Energy Policy*, v. 36, p. 787-797, 2008.
- ALDY, J. E.; KRUPNICK, A. J.; NEWELL, R. G.; PARRY, I. W. H.; PIZER, W. A. *Climate economics and policy*. RFF Discussion Paper. Washington, DC: Resources for the Future, 2008.
- ALDY, J. E.; STAVINS, R. N. *Post-Kyoto International Climate Policy: Summary for Policymakers*. New York: Cambridge University Press, 2009.
- ALDY, J., ASHTON, J., BARON, R., BODANSKY, D., CHARNOVITZ, S., DIRINGER, E., HELLER, T., PERSHING, J., SHUKLA, P., TUBIANA, L., TUDELA, F., WANG, X. *Beyond Kyoto. Advancing the international effort against climate change*. Technical Report, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, USA, 2003.

ALMEIDA, A. N. *Elasticidades renda e preços: análise do consumo familiar a partir dos dados da POF 2008/2009*. Texto para discussão Nereus 04-2011. São Paulo: NEREUS, 2011. 29 p.

ALMEIDA, E. S. MINAS-SPACE: *Modelo de equilíbrio geral espacial para planejamento e análise de políticas de transportes no estado de Minas Gerais*, (Tese de doutorado) Departamento de Economia/IPE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ALVES, H. F. Metodologias de integração de dados sociodemográficos e ambientais para análise da vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas no contexto das mudanças climáticas. In: *População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. HOGAN, D. J.; MARANDOLA, E. (Orgs.), Campinas: Núcleo de Estudo de População- NEPO; Brasília: Fundo de População das Nações Unidas-UNFPA, 2009.

ANDERSEN, M.S. Vikings and virtues—a decade of CO₂ taxation. *Climate Policy* v.4:, p.13-24, 2004.

ANGER, N., OBERNDORFER, U. Firm performance and employment in the EU emissions trading scheme. *Energy Policy*, v. 36, p. 12–22, 2008.

ARMINGTON, P. S. A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. *International Monetary Fund Staff Papers*, v. 16, n. 1, p. 159-178, 1969.

ARROW, J. K.; HAHN, F. H. *General competitive analysis*. San Francisco: Holden-Day, 1971.

ARROW, J. K.; DEBREU, G. The Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*. v. 22, p. 265-90, 1954.

ASHTON, J., WANG, X. *Beyond Kyoto: Advancing the International Effort Againsts Climate Change, Chapter Equity and Climate: In Principle and Practice*. Pew Center on Global Climate Change, p. 61–85, 2005.

ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Climate change, agricultural productivity and poverty. In: DE LA TORRE, A.; FAJNZYLBER, P.; NASH, J. (ed.) *Low-carbon development: Latin American responses to climate change*. World Bank Latin America and Caribbean studies. World Bank, mar. 2010.

AZAR, C. The cost of reducing CO₂ emissions. In: Schneider, S. H., Rosencranz, A., Mastrandrea, M. D., & Kuntz-Duriseti, K. *Climate change science and policy*. Washington, DC: Island Press, 2010.

BANCO MUNDIAL. *Low-carbon development: Latin American responses to climate change*. la Torre, A.; Fajnzylber, P.; Nash, J. (Orgs.). Washington D.C., 2010.

BANDARA, J. Computable general equilibrium models for development policy analysis in LDCs. *Journal of Economic Surveys*. v. 5, n. 1, p. 3-69, 1991.

BARANZINI, A.; GOLDEMBERG, J.; SPECK, S. A future for carbon taxes. *Ecological Economics* v. 32, p. 395–412, 2000.

BARKER, T. Taxing pollution instead of employment: greenhouse gas abatement through fiscal policy in the UK. *Energy Environment*. v. 6 n. 1, p. 1–28, 1995.

BARKER, T.; BAYLIS, S.; MADSEN, P. A UK carbon/energy tax: the macroeconomic effects. *Energy Policy*, v. 21 n. 3, p. 296–308, 1993.

- BARKER, T.; KOHLER, J. *International Competitiveness and Environmental Policies*. Edward Elgar, Cheltenham, 1998.
- BAUMOL, W. J., OATES, W. E. *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, 2nd edition, 1988.
- BAUMOL, W. J., OATES, W. E. Long- Run Trends in Environmental Quality. In *The State of Humanity*, ed. Julian L Simon. Cambridge MA: Blackwell Publishers, 444—75, 1995.
- BECCHERLE, J., TIROLE, J. Regional initiatives and the cost of delaying binding climate change agreements. *Journal of Public Economics* v. 95, p. 1339–1348, 2011.
- BEGHIN, J. *et al.* *General equilibrium modelling of trade and the environment*. Paris: OECD, Development Centre, Technical Paper, n. 116, 1996.
- BEHR, T., WITTE, J.M., HOXTELL, W., MANZER, J. *Towards a Global Carbon Market Potential and Limits of Carbon Market Integration*, GPPI Policy Paper 5, Berlin: Global Public Policy Institute, 2009.
- BERGMAN, L. Energy Policy Modeling: a survey of general equilibrium approaches. *Journal of Policy Modeling*. v. 10, n. 3, p. 377-399, 1988.
- BLANCHARD, O. Scenarios for differentiating commitments. In: BAUMERT, K.A., BLANCHARD, O., LLOSA, S., PERKAUS, J.F. (Eds.), *Building on the Kyoto Protocol: Options for Protecting the Climate*. World Resources Institute, p. 203-222, 2002.
- BLEISCHWITZ, R.; FUHRMANN, K.; *The Sustainability Impact of the EU Emissions Trading system on the European Industry*, Bruges European Economic Policy Briefings no.17, College of Europe, 2007.
- BODANSKY, D. *Beyond Kyoto: Advancing the International Effort Against Climate Change*. Technical report, Pew Center on Global Climate Change, 2003.
- BODANSKY, D., *International Sectoral Agreements in a Post-2012 Climate Framework*. Washington, D.C.: Pew Center on Global Climate Change, 2007.
- BOHLIN, F. The Swedish carbon dioxide tax: Effects on biofuel use and carbon dioxide emissions. *Biomass and Bioenergy*, v. 15, p. 283–291, 1998.
- BOHM, P.; RUSSEL, C.S.. Comparative analysis of alternative policy instruments. In: Kneese, A.V., Sweeney, J.L. (Eds.), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, vol. I. North-Holland, Amsterdam, p. 395–460, 1985.
- BOHRINGER, C., HOFFMANN, T., LANGE, A., LOSCHEL, A., MOSLENER, U. Assessing emission regulation in Europe: an interactive simulation approach. *The Energy Journal*, v. 26, p.1–21, 2005.
- BOHRINGER, C., VOGT, C. Economic and environmental impacts of the Kyoto Protocol. *Canadian Journal of Economics* v. 36, p. 475–494, 2003.
- BOHRINGER, K., ROSENDAHL, E. Strategic partitioning of emission allowances under the EU Emission Trading Scheme. *Resource and Energy Economics* v. 31, p.182–197, 2009.
- BONACIC, R. *Aplicação ambiental do modelo de equilíbrio geral da OECD no Chile*. Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile, 1998, mimeo.
- BOSETTI, V., BUCHNER, B. Data Envelopment Analysis of different climate policy scenarios. *Ecological Economics* v.68, p. 1340 –1354, 2009.

BOSETTI, V.; FRANKEL, J. Global Climate Policy Architecture and Political Feasibility: Specific Formulas and Emissions Targets to Attain 460 ppm CO₂ Concentrations. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010.

BOVENBERG, A.L., GOULDER, L.H. Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: general equilibrium analyses. *American Economic Review* v. 86 n. 4, p. 985–1000, 1996.

Brasil. Congresso Nacional. Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. Brasília, 9 dez. 2010.

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. 2004 (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21037.html>).

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Contribuições do Brasil para Evitar a Mudança do Clima*. 2008. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/73007.html>)

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Segundo Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal* INERAGEE, 2010. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>)

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Status Atual das Atividades de Projeto no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no Mundo*. 2011. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/30317.html>)

Brasil. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Eficiência Energética*. Brasília, 2011.

BRENNER, M., RIDDLEB, M.; BOYCE, J. K. A Chinese sky trust? Distributional impacts of carbon charges and revenue recycling in China. *Energy Policy*, v.35, p. 1771–1784, 2007.

BROOKES, L. G. The Greenhouse effect: the fallacies in energy efficiency solution. *Energy Policy* v.18 n. 2, p. 199–201. 1990.

BRUVOLL, A.; LARSEN, B.M. Greenhouse gas emissions in Norway: Do carbon taxes work? *Energy Policy* v. 32, n. 4, p. 493–505, 2004.

BUCHNER, B., CARRARO, C., CERSOSIMO, I. Economic consequences of the US withdrawal from the Kyoto/Bonn Protocol. *Climate Policy* v.2, p. 273–292, 2002.

BUREAU, B. Distributional effects of a carbon tax on car fuels in France. *Energy Economics*, v. 33, p. 121–130, 2011.

BURNIAUX, J. M., MARTINS, J. O. *Carbon emissions leakages: a general equilibrium view*. OECD, Economics Department, 2000 (Working Paper, 242).

BURNIAUX, J. M.; TRUONG, P. T. *GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model*. GTAP Technical Paper n. 16 (Revised), 2002.

CANEPA, E. M. Economia da Poluição. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

- CARRARO, C. The structure of international agreements on climate change. In: Carraro, C. (Ed.), *International Environmental Agreements on Climate Change*. Kluwer Academic Pub, Dordrecht, 1999.
- CARRARO, C., SINISCALCO, D., Strategies for the international protection of the environment. *Journal of Public Economics* v.52, p. 309–328, 1993.
- CEPA Environmental Registry, *Notice of intent to regulate greenhouse gas emissions by large final emitters*. Canada Gazette v. 139, n. 29, part. I, 2005.
- CHEVALLIER, J. Carbon futures and macroeconomic risk factors: a view from the EU ETS. *Energy Economics*, v. 31, n. 4, p. 614–625, 2009.
- CHEVALLIER, J. Detecting instability in the volatility of carbon prices. *Energy Economics*, v. 33, p. 99–110, 2011.
- CHUA, S. Does Tighter Environmental Policy Lead to a Comparative Advantage in Less Polluting Goods? *Oxford Economic Papers*, v. 55, n. 1, p. 25–35, 2003.
- CLARKE, L., EDMONDS, J., KREY, V., RICHEL, R., ROSE, S., TAVONI, M. International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. *Energy Economics* v.31, p.64–81, 2009.
- CLINE, W.R. *The Economics of Global Warming*. The Institute for International Economics, Washington DC, 1992.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional*. Brasília, 2009. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/05/220/20121126132514523849i.pdf> Acesso em Novembro de 2011.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Oportunidades de eficiência energética para a indústria*. CNI: Brasília, 2010.
- COASE, R. H. The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics III*, p. 1-44, 1960.
- CONVERY, F.; REDMOND, L. Market and Price Developments in the European Union Emissions Trading Scheme. *Review of Environmental Economics and Policy*, v. 1, n.1, p. 88-111, 2007.
- CRAMTON, P.; KERR, S. Tradeable Carbon Permit Auctions: How and why to auction not grandfather *Energy Policy*, v.30, p. 333-345, 2002.
- CRUIK, P., KITOUS, A., BERK, M., den ELZEN, M., EICKHOUT, B., LUCAS, P., van VUUREN, D., KOUVARITAKIS, N., VANREGEMORTER, D. *Study Contract: B4- Greenhouse Gas Reduction Pathways in the UNFCCC Process up To 2025—Policymakers Summary*. MAR/E.1 for the European Commission, DG Environment, 2004. Disponível em : http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/pm_summary2025.pdf. Acesso em Novembro de 2011.
- DAUGJBERG, C.; PEDERSON, A. B. New policy ideas and old policy networks: Implementing green taxation in Scandinavia. *Journal of Public Policy*, v. 24, p. 219-249, 2004.

- DE MELLO, Jaime. Computable general equilibrium models for trade policy analysis in developing countries: a survey. *Journal of Policy Modeling*. v. 10, n. 4, p. 469-503, 1988.
- DEMAILLY, D., QUIRION, P. European Emission Trading Scheme and Competitiveness : a Case Study on the Iron and Steel Industry. *Energy Economics*, v.30 n.4, p. 2009-2027, 2008.
- den ELZEN, M., de MOOR, A. Analyzing the Bonn Agreement and Marrakesh Accords: economic efficiency and environmental effectiveness. *Ecological Economics* v. 43, p. 141–158, 2002.
- den ELZEN, M., HOHNE, N., van VLIET, J. Analysing comparable greenhouse gas mitigation efforts for Annex I countries. *Energy Policy* v.37, p. 4114–4131, 2009.
- den ELZEN, M.G.J., BERK, M. M., LUCAS, P., EICKHOUT, B., Van VUUREN, D.P. *Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target*. RIVM Report No. 728001023, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, The Netherlands, 2003. Disponível em : <[http://arch.rivm.nl/ieweb/ieweb/ Reports/728%20001%20023_final_V1.pdf](http://arch.rivm.nl/ieweb/ieweb/Reports/728%20001%20023_final_V1.pdf)>. Acesso em Novembro de 2011.
- DESSLER, A. E, PARSON, E. A. The Science and Politics of Global Climate Change: a Guide to the Debate. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2010.
- DEVUYST, E.; PRECKEL P. Sensitivity analysis revisited: a quadrature-based approach. *Journal of Policy Modeling*. v.19, n.2, p.175-185, 1997.
- DIXON, P. B.; PARMENTER B. R.; SUTTON, J. M.; VINCENT D. P. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. Amsterdam: North-Holland, 1982.
- DIXON, P.; PARMENTER, B. Computable General Equilibrium Modeling for Policy Analysis and Forecasting. Em: (orgs) *Handbook of Computational Economics*. Elsevier, v.1, 1996.
- DIXON, P.B.; RIMMER, M. *Dynamic General Equilibrium Modelling for Forecasting and Policy: a practical guide and documentation of MONASH*. Amsterdam: Elsevier, 2002. 338p.
- DIXON, P.B.; RIMMER, M. *Forecasting and Policy Analysis with a Dynamic CGE Model of Australia*. Working Paper, 1998.
- DOMINGUES, E. P. *Dimensão Regional e Setorial da Integração Brasileira na Área de Livre Comércio das Américas*, 2002, 222 f. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.
- DOMINGUES, E. P. MAGALHAES, A. S.; RUIZ, R. M. *Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: Impactos econômicos na Região Nordeste*. Texto para Discussão/CEDEPLAR. Belo Horizonte, 2008.
- DOMINGUES, E. P.; BETARELLI A. A. J.; MAGALHÃES, A. S.; OLIVEIRA, H. C.; VALLADARES, L.M.. *Calibragem do Modelo ORANIG para os Dados da Matriz Insumo-Produto Nacional (2005)*. Relatório Técnico de Pesquisa. CEDEPLAR/UFMG, 2009, 33 p.
- EDMONDS, J.; KIM, S. H.; McCracken, C. N.; SANDS, R. D.; WISE, M. A. *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-*

2000 Period. Washington, D.C.: Pacific Northwest National Laboratory, operated by Battelle Memorial Institute. 1997.

EGENHOFER, C., HAGER, W., LEGGE, T. *Defining Europe's Near Abroad in Climate Change: A Russian-EU Alliance—Sub-global Bargaining to Further International Environmental Agreements*. CEPS Discussion Paper, Brussels, 2001.

EKINS, P., *Ecological taxreform, environmental policy, and the competitiveness of British industry*. Policy Briefing No.1, Forum for the Future, London, 1998.

EKINS, P., SPECK, S. Competitiveness and Exemptions from Environmental Taxes in Europe. *Environmental and Resource Economics*, v. 13, p. 369–399, 1999.

ELETROBRAS. *Resultados Programa Nacional de Conservação de Energia – Procel 2012 (ano base 2011)*. Rio de Janeiro, 2012.

ELLERMAN, D., BUCHNER, B., Over-allocation or abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on 2005 emissions data. *Environmental and Resource Economics* v. 41, p. 267–287, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUÁRIA - EMBRAPA.

Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. Disponível em <www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>. São Paulo, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional 2010 - Ano Base: 2011*. Rio de Janeiro: EPE, 2010, 53 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em Fevereiro de 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Plano Nacional de Energia 2030*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.

EXAME – Revista Exame. *Pré-Sal e a Nova Economia Brasileira*. Edição 1019, ano 46, n. 12, 2012.

FEIJO, F. T.; PORTO Jr., Protocolo de Quioto e o Bem Estar Econômico no Brasil Uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável. *Análise Econômica* (UFRGS), v.51, p. 127-154, 2009.

FELDER, S.; RUTHERFORD, T.F. Unilateral CO2 reductions and carbon leakage: the consequences of international trade in oil and basic materials. *Journal of Environmental Economics and Management*, v.25, p.162–176, 1993

FENG, K., HUBACEK, K., GUAN, D., CONTESTABILE, M., MINX, J.; BARRETT, J. Distributional effects of climate change taxation: the case of the UK. *Environmental Science and Technology*, v.44, p.3670–3676, 2010.

FERREIRA FILHO, J. B. S. Ajuste estrutural e agricultura na década de 80: uma abordagem de equilíbrio geral. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v.27, n.2, 1998.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; ROCHA, M. T. Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina. *Anais ...* Londrina: SOBER, 2007.

- FLACHSLAND, C., EDENHOFER, O., JAKOB, M., STECKEL, J. *Developing the International Carbon Market. Linking Options for the EU ETS*. Report to the Policy Planning Staff in the Federal Foreign Office. Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2008.
- FLOROS, N.; VLACHOU, A. Energy demand and energy-related CO₂ emissions in Greek manufacturing: Assessing the impact of a carbon tax. *Energy Economics* v.27, p.387–413, 2005.
- FORSUND, F. R; STORM, S. *Environmental Economics and Management: Pollution and Natural Resources*, Croom Helm: London, 1988.
- FRANKEL, J. *An elaborated proposal for global climate policy architecture: Specific formulas and emission targets for all countries in all decades*. Discussion Paper 2008-08, Cambridge, MA: Harvard Project on International Climate Agreements, 2008.
- FRANKEL, J. Formulas for Quantitative Emission Targets. In: ALDY, J., STAVINS, R. (eds). *Architectures for Agreement: Addressing Global Climate Change in a Post Kyoto World*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- FRISCH, R. A Complete Scheme for Computing All Direct and Cross Demand Elasticities in a Model with Many Sectors. *Econometrica*, v. 27, n. 2, p. 177-196, abr. 1959.
- FULLERTON, D.; HEUTEL, G. The General Equilibrium Incidence of Environmental Taxes, *Journal of Public Economics*, v.91, p. 571-591, 2007.
- FULLERTON, D.; HEUTEL, G. Analytical general equilibrium effects of energy policy on output and factor prices. B.E. *Journal of Economic Analysis & Policy*, Symposium, v.10, n.2, Article 15, 2010.
- FULLERTON, D.; METCALF, G. E. Environmental Controls, Scarcity Rents, and Pre-existing Distortions. *Journal of Public Economics*, v. 80, n.2, p. 249–67, 2001.
- GAINZA-CARMENATES, R. ALTAMIRANO-CABRERA, J. THALMANN, P., DROUET, L. Trade-offs and performances of a range of alternative global climate architectures for post-2012. *Environmental science e policy* v.13, p. 63 – 77, 2010.
- GELLER, H, ATTALI, S. The Experience with Energy Efficiency Policies and Programmes in IEA Countries: Learning from the Critics. Paris: International Energy Agency, 2005
- GERSBACH, H., WINKLER, R International emission permit markets with refunding. *European Economic Review* v. 55, p. 759–773, 2011.
- GIAMBIAGI, F. Cenários para as contas públicas: 1996-2002. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, v.26, n. 2, ago. 1996.
- GIAMBIAGI, F. e PASTORIZA, F. *Modelo de Consistência Macroeconômica*. Rio de Janeiro, Texto para Discussão n. 52, BNDES, jan. 1997.
- GONZAGA, G., CORSEUIL, C. H. Emprego industrial no Brasil: uma análise de curto e longo prazos. *Revista Brasileira de Economia*, v. 55, n. 4, p. 467-491, 2001.
- GOTO, N. Macroeconomic and sectoral impacts of carbon taxation. *Energy Economics*, v. 17 n.4, p.277–292, 1995.
- GOTTINGER, H. W. Greenhouse Gas Economics and Computable General Equilibrium. *Journal of Policy Modeling*, v.20, n.5, 10, p.537-580. 1998.

- GOULDER, L.H. Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide. *International Tax Public Finance*, v.2, n.2, p.157–183, 1995.
- GOUVELLO, C. (Ed.) Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. 2010. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1276778791019/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf> Acesso em 5 de Julho de 2011.
- GRAFSTROM, J. The effect of the Swedish carbon dioxide tax: An econometric analysis, Master thesis in Economics, 2010. Disponível em: <<http://epubl.ltu.se/1402-1552/2010/001/LTU-DUPP-10001-SE.pdf>> Acesso em Novembro de 2012.
- GREENING, L.; GREENE, D.L.; DIFIGLIO, C. Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy Policy*, v. 28, p.389–401, 2000.
- GRUBB, M., NEUHOFF K. Allocation and competitiveness in the EU emissions trading scheme: policy overview. *Climate Policy* v.6, p.7–30, 2006.
- GUILHOTO, J. J. M. *Um modelo computável de equilíbrio geral para planejamento e análise de políticas agrícolas (PAPA) na economia brasileira*. (Tese de Livre-Docência). ESALq, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- GUPTA, S., TIRPAK, D.A., BURGE, N., GUPTA, J., HOHNE, N. *Climate change 2007: mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 13: Policies, Instruments and Co-operative Arrangements. Cambridge University Press, 2007.
- GURGEL, A. C. Impactos da economia mundial de baixo carbono sobre o brasil. *Anais da ANPEC*, 2012.
- HADDAD, E. A. *Regional Inequality and Structural Changes: Lessons from the Brazilian Experience*. Aldershot: Ashgate, 1999.
- HADDAD, E. A. *Retornos Crescentes, Custos de Transporte e Crescimento Regional*. (Tese de Livre-Docência). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004, 203 p.
- HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. P. EFES: Um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: projeções setoriais para 1999-2004. *Estudos Econômicos*. São Paulo, v. 31, n.1, p. 89-125, jan-mar. 2001.
- HADDAD, E. A.; HEWINGS, G. J. D. *The theoretical specification of B-MARIA*. Discussion Paper 97-T-5. Urbana-Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign, Regional Economics Applications Laboratory, 1997.
- HAGEM, C. HOLTSMARK, B. *From Small to Insignificant: Climate Impact of the Kyoto Protocol with and without US*. CICERO Policy Note 2001:1, Center for International Climate and Environmental Research, Oslo, 2001.
- HAHN, R. W.; STAVINS, R. N. *What Has the Kyoto Protocol Wrought? The Real Architecture of International Tradable Permit Markets*. Washington, D.C.: American Enterprise Institute Press, 1999.
- HANOCH, G. CRESH production functions. *Econometrica*. USA, v. 39, n. 5, p. 695–712, 1971.
- HARBERGER, A.C.; The incidence of the corporation income tax. *Journal of Political Economy*. v. 70, p. 215–240, 1962.

- HARGRAVE, T. *Growth baselines: Reducing emissions and increasing investment in developing countries*. Executive summary, Center for Clean Air Polic, 1998.
- HARRISON, G.W., KRISTROM, B. *Carbon Taxes in Sweden*. University of Umea, Sweden, 1997.
- HASEGAWA, M. M. *Políticas públicas na economia brasileira: uma aplicação do modelo MIBRA, um modelo inter-regional aplicado de equilíbrio geral*. 2003. Tese (Doutorado em Economia) – ESALQ/USP, Piracicaba/SP, 2003.
- HEPBURN, C. Regulating by prices, quantities or both: an update and an overview. *Oxford Review of Economic Policy*, v.22, p.226–247, 2006.
- HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M.; HILGEMBERG, C. M. A. T. *Uso de Combustíveis e Emissões de CO₂ no Brasil: um Modelo Inter-Regional de Insumo Produto*. In: Anais do XXXIII Encontro Nacional de Economia, Natal, 2005. (Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2005/artigos/A05A135.pdf>)
- HINCHY, M.; HANSLOW, K. *The MEGABARE model: interim documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 1996. Disponível em: <<http://www.abareconomics.com>>.
- HOF, A.; den ELZEN, M.; van VUUREN, D. Environmental effectiveness and economic consequences of fragmented versus universal regimes: what can we learn from model studies? *International Environmental Agreements* v.9, p. 39-62, 2009.
- HOFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no Brasil, com base na POF de 2008-2009. *Economia Aplicada*, v. 57, n. 2, p. 49-57, 2010.
- HOHNE, N. et al., 2008. *Proposals for contributions of emerging economies to the climate regime under UNFCCC POST-2012. Final report for the Federal Environment Agency, Germany*. Climate Change 15/2008. 2008. Disponível em: <http://www.wupperinst.org/de/projekte/proj/uploads/tx_wiprojekt/emerging_economies_post2012.pdf> Acessado em Novembro de 2011
- HORRIDGE, M. *ORANI-G: A Generic Single-Country Computable General Equilibrium Model*. Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, Austrália, 2006, 78 p.
- International Energy Agency - IEA. *World Energy Outlook*. International Energy Agency, Paris, 596P., 2006.
- IFC. *Projeto de Fortalecimento de Instituições e Infraestrutura do Mercado de Carbono no Brasil*. 2010. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/mercados/download/Sumario-Executivo-Projeto-de-Fortalecimento-das-Instituicoes-e-Infraestrutura-do-Mercado-de-Carbono-no-Brasil.pdf>> Acesso em Julho de 2011.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Censo Agropecuário 2006*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: junho de 2009.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *POF 2008 2009 – Despesas, Rendimentos e Condições de Vida*, 2010.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Sistema de Contas Nacionais*. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em junho de 2011.

International Energy Agency - IEA. *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2009*. Edition IEA, Paris. 2009.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*. 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf> . Acesso em Setembro de 2010.

JOHANSEN, L. *A Multisectoral Model of Economic Growth*. Amsterdam: North-Holland, 1960.

JOHANSSON, B. The carbon tax in Sweden, Chapter 5. *Innovation and the environment: OECD proceedings*, 2000. Disponível em : <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=5YIHp5F_LWoC&oi=fnd&pg=PA85&dq=the+carbon+tax+in+sweden+&ots=rINJLVtAY1&sig=z8Mg6m8E_ORzTB_KhemQH55R5Xc#v=onepage&q=the%20carbon%20tax%20in%20sweden&f=false> Acesso em Junho de 2012.

JORGENSEN, D. W., WILCOXEN, P. Intertemporal general equilibrium modeling of U.S. environmental regulation. *Journal of Policy Modeling*, 1990.

JORGENSEN, D. W., WILCOXEN, P. Reducing US carbon dioxide emissions: an assessment of different instruments. *Journal of Policy Modeling* v.15 n.5&6, p. 491–520, 1993.

KEMFERT, C.; KREMERS, H. *A computable general equilibrium assessment of a developing country joining an Annex B emission permit market. Scientific Pool of Environmental Economic Disciplines (SPEED)*, Germany, 2003. Disponível em: <<http://www.vwl.uni-oldenburg.de/download/KemfertKremers.pdf>> Acesso em Novembro de 2011.

KHAZZOOM, D. J. Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances. *The energy journal* v.1, p.21-40, 1980.

KLEPPER, G., PETERSON, S. Marginal abatement cost curves in general equilibrium: the influence of world energy prices. *Resource and Energy Economics* v.28, p.1–23, 2006.

KLEPPER, G. The future of the European Emission Trading System and the Clean Development Mechanism in a post-Kyoto world, *Energy Economics*, 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V7G-51XR3M5-1/2/8117ca657fa66e17e77bcd742e04c0b3>> Acesso em Dezembro de 2011.

KRUGER, J., PIZER, W. *The EU Emissions Trading Directive. Opportunities and Potential Pitfalls*. Resources for the Future Discussion Paper, RFF DP 04-24, 2004.

KRUGER, J.; OATES, W. E.; PIZER, W.A. Decentralization in the EU emissions trading scheme and lessons for global policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, v.1, n.1, p.112-133, 2007.

LEONTIEF, W. *The structure of the American economy, 1919-1929*. New York: Oxford University Press, 1941.

LI, P. C. et al. *Energy substitution in CGE model ling—using the —Technology Bundle approach: the case of Taiwan*. Australia: Monash University, 2000. Disponível em: <www.monash.edu.au/policy>. Acesso em Janeiro de 2012.

- LIANG, Q.M., FAN, Y., WEI, Y.M. Carbon taxation policy in China: How to protect energy-and trade-intensive sectors? *Journal of Policy Modeling* v. 29, p. 311–333, 2007.
- LIMA, E. M. C. *Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira*. 2011. 151p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.
- LIN, B.; LI, X., The effect of carbon tax on per capita CO₂ emissions, *Energy Policy*, v. 39, n. 9, p. 5137-5146, 2011.
- LINARES, P.; LABANDEIRA, X. Energy Efficiency: Economics and Policy. *Journal of Economic Surveys*, v.24: p. 573–592, 2010.
- LOPES, R. L. *Efeitos de uma restrição na emissão de CO₂ na economia brasileira*. 2003. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba.
- LOSCHEL, A. ZHANG, Z.X. The Economic and Environmental Implications of the US Repudiation of the Kyoto Protocol and the Subsequent Deals in Bonn and Marrakech. *Weltwirtschaftliches Archiv* v. 138, n.4, p.711-746, 2001.
- LU, C., TONG, Q., LIU, X.M. The impacts of carbon tax and complementary policies on Chinese economy. *Energy Policy* v.38, p. 7278–7285, 2010.
- MACE, M.J., MILLAR, I., SCHWARTE, C., ANDERSON, J., BROEKHOFF, D., BRADLEY, R., BOWYER, C., HEILMAYR, R. *Analysis of legal and organisational issues arising in linking the EU Emissions Trading Scheme to other existing and emerging emissions trading schemes*. London, Brussels, Washington, DC: Foundation for International Environmental Law and Development, Institute for European Environmental Policy, World Resources Institut, 2008.
- MANNE, A. S. General Equilibrium Modeling for Global Climate Change. In: KEHOE, T. J.; SRINIVASAN, T. N.; WHALLEY, J. (Ed.). *Frontiers in Applied General Equilibrium Modeling*. New York: Cambridge University Press, p. 255-276, 2005.
- MAI, Y.; DIXON, P. B.; RIMMER, M. A Monash-Styled Dynamic CGE Model of China. Working Paper Number G-201. Melbourne: Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, 2010. 53 p.
- MANNE, A.S., RICHELIS, R. U.S. *Rejection of the Kyoto Protocol: The Impact on Compliance Costs and CO₂ Emissions*. Stanford, CA: Stanford University Mechanical Engineering and Electric Power Research Institute, 2001.
- MANNE, A.S; RICHELIS, R. Global CO₂ Emissions Reductions: The Impacts of Rising Energy Costs. *Energy Journal* v.12, p. 87-107, 1991.
- MARENGO et al. *Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia*. INPE, Maio 2011.
- MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. (Eds.) *Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades*. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82p.
- MARSHALL, A. *Principles of Economics*. London: Macmillan 1890.

- MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- McDOUGALL, R., GOLUB, A. *GTAP-E Release 6: A Revised Energy-Environmental Version of the GTAP Model*. GTAP Technical Paper, 2007.
- McDOUGALL, R. *Energy taxes and greenhouse gas emissions in Australia*. Working Paper. Centre of Policy Studies/IMPACT Centre: Monash University, g-104, 1993.
- McKIBBIN, W., WILCOXEN, P. The role of economics in climate change policy. *Journal of Economic Perspectives* v.16, p.107–129, 2002.
- McKINSEY; ECOFYS. *Review of EU Emissions Trading Scheme-Survey Highlights*, European Commission, Brussels, 2005.
- MEADOWS, D., RANDERS, J., BEHRENS, W. *Limites do Crescimento: Um Relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade*. Perspectiva, São Paulo, 1972.
- MENDES, T. A., RODRIGUES FILHO, S. Antes do pré-sal: emissões de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás no Brasil. *Estudos avançados*, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em Novembro de 2012.
- METCALF, G.; WEISBACH, D. Linking Policies When Tastes Differ: Global Climate Policy in a Heterogeneous World. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010.
- METCALF, G.E.; HASSETT, K.A. Measuring the energy savings from home improvement investments: evidence from monthly billing data. *Review of Economics and Statistics* v.81, p.516–528., 1999.
- MICHAELOWA, A. Fragmentation of international climate policy – doom or boon for carbon markets? In: UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP). *The Emissions Gap Report: Are the Copenhagen Accord Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2°C or 1.5°C? A Preliminary Assessment – Technical Summary*. 2010. Disponível em: <http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport/pdfs/EMISSIONS_GAP_TECHNICAL_SUMMARY.pdf>. Acesso em Novembro de 2011.
- MICHAELOWA, A.; BUTZENGEIGER, S. EU emissions trading: navigating between Scylla and Charybdis, *Climate Policy* v.5, p.1–9, 2005.
- MIESZKOWSKI, P.M. On the Theory of Tax Incidence. *Journal of Political Economy*, v. 75, n.3, p.250–62, 1967.
- MIESZKOWSKI, P.M.. The Property Tax: An Excise Tax or a Profits Tax? *Journal of Public Economics*, v.1, n.1, p.73–96, 1972.
- MIGUEZ, J. D. G. et al. O Protocolo de Quioto e sua regulamentação no Brasil. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, Brasília, Ipea, n. 4, jul. 2010.
- MORAES, G. I. *Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável*. 2010, 267 f. Tese (Doutorado em Economia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

- MORANDI, L.; E. J. REIS. Estoque de capital fixo no Brasil, 1950-2002. In: *Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia – ANPEC*, 7 a 9 de dezembro, João Pessoa, PB, 2004.
- NAKATA, T., LAMONT, A. Analysis of the impacts of carbon taxes on energy systems in Japan. *Energy Policy* v.29, n.2, p. 159–166, 2001.
- NEUHOFF, K., FERRARIO, F., GRUBB, M., GABEL, E., KEATS, K. Emission projections 2008–2012 versus national allocation plans II. *Climate Policy* v.6, p.395–410, 2006.
- NORDHAUS, W.D., BOYER, J.G. Requiem for Kyoto: an economic analysis. In: *The Costs of the Kyoto Protocol : A Multi-Model Evaluation. Energy Journal* (Special Issue), p 93–130, 1999.
- NORDHAUS, W. D. *A question of balance: weighing the options on global warming policies*. New Haven, Yale University Press, 2008.
- NORDHAUS, W.D. Rolling the DICE: The Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases. *Resource and Energy Economics* v.15, p.27-50, 1994.
- OJHA, V. Carbon emissions reduction strategies and poverty alleviation in India. *Environment and Development Economics*, v.14, p.323–348, 2011.
- OLMSTEAD, S. M.; STAVINS, R. N. *Three key elements of post-2012 international climate policy architecture*. HKS Faculty Research Working Papers Series RWP10-030. 2010.
- OREIRO, J.L.; LEMOS, B.P.; MISSIO, F.J.; PADILHA, R.A. *Qual a taxa de potencial de crescimento da economia brasileira?* I Semana de Estudos de Economia da UFPr, Agosto, 2004.
- PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; ECKAUS, R.S.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M.; ASADOORIAN, M.; BABIKER, M. *The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: version 4*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2005. Report n. 125. Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/pubs/abstract.php?publication_id=697>. Acesso em Julho de 2012.
- PATTERSON, M. What is Energy Efficiency? - Concepts, Indicators and Methodological Issues. *Energy Policy*, v. 24, n.5, p. 377-390, 1996.
- PEARCE, D.W. CLINE, W.R., ACHANTA, A.N., FANKHAUSER, S., PACHAURI, R.K., TOL, R.S.J., VELLINGA, P. The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. In: IPCC, *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the 2nd Assessment Report of the IPCC*. WMO and UNEP, Cambridge University Press, New York, NY, chapter 6, 1996.
- PEARCE, D.W., WARFORD, J. *A World without end: economics, environment, and sustainable development*. Oxford, England: Oxford University Press; 1993.
- PEREIRA, A. S.; MAY, P.H. Economia do Aquecimento Global. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 219-244, 2003.

- PEREIRA, M.B.G., GUTIERREZ, S. Do MDL às NAMAs: perspectivas para o financiamento do desenvolvimento sustentável brasileiro. *Boletim Regional, Urbano, e Ambiental*, Brasília, Ipea, n. 4, p. 47-56, jul. 2010
- PEROBELLI, F. S. *Análise das Interações Econômicas entre os Estados Brasileiros*. 2004, 246 f. (Tese de Doutorado). Departamento de Economia/IPE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- PETER, W. W. HORRIDGE, M.; MEGUER, G.A. NAVQUI, F.; PARMENTER, B. R. *The theoretical structure of MONASH-MRF*. Cayton: Center of Policy Studies, 1996. 121 p. (Preliminary working paper, OP-85). Disponível em: <http://www.monash.edu.au/polycy>. Acesso em: 12 jul. 2010.
- PETERSON, S. *Efficient Abatement in Separated Carbon Markets: A Theoretical and Quantitative Analysis of the EU Emissions Trading Scheme*. Kiel working paper, 1271. Institute for World Economics, Kiel, 2006.
- PEZZEY, J.V., PARK, A. Reflections on the double dividend debate. *Environmental Resources Economics*. v.11 n.3-4, p. 539-555, 1998.
- PIGOU, A.C. *The Economics of Welfare*. Macmillan, London, 1920.
- POINT CARBON, 2009. Notícia retirada de <<http://www.pointcarbon.com/news/>> (Acesso em 22 de Fevereiro de 2012).
- POTERBA, J.A. Tax policy to combat global warming. On designing a carbon tax. In: Dornbusch, R., Poterba, J. (Eds.), *Global Warming: Economic Policy Responses*. MIT Press, Cambridge, 1991.
- PRAG, A.; AASRUD, A.; HOOD, C. *Keeping track: Options to develop international greenhouse gas accounting after 2012*, COM/ENV/EPOC/IEA/SLT: 1, OECD, Paris, 2011.
- RAUSCH, S., METCALF, G.E.; REILLY, J. M. Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households. *Energy Economics*, S20-S33, 2011.
- REINAUD, J. *CO₂ Allowance and Electricity Price Interaction: Impact on Industry's Electricity Purchasing Strategies in Europe*. IEA information paper, 2007.
- REQUATE, T. Dynamic incentives by environmental policy instruments - a survey. *Ecological Economics* v. 54, p.175-195, 2005.
- ROCHA, M. T. *Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT*. 2003. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba.
- RONG, F. Understanding developing country stances on post-2012 climate change negotiations: Comparative analysis of Brazil, China, India, Mexico, and South Africa, *Energy Policy* v. 38, n. 8, p. 4582-4591, 2010.
- ROSE, A. *The Economics of Climate Change Policy: International, National and Regional Mitigation Strategies*. Edward Elgar, Massachusetts, 2009.
- SÃO PAULO. PEMC - Lei Estadual nº13.798, de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC). São Paulo: Assembleia Legislativa, 2009
- SCARF, H. *On the computation of equilibrium prices*. New York: John Wiley & Sons, 1967.

- SCHELLING, T.C. What makes greenhouse sense? Time to rethink the Kyoto Protocol. *Foreign Affairs* v. 81, p. 2–9, 2002.
- SEROA DA MOTTA, R. Aspectos regulatórios das mudanças climáticas no Brasil. *Boletim Regional, Urbano, e Ambiental*, Brasília, Ipea, n. 4, p. 33-38, jul. 2010
- SILVA, J. G.; GURGEL, A. C. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 42, n. 1, 2012.
- SINN, H. Public policies against global warming: a supply side approach. *International Tax and Public Finance* v.15, p. 360-394, 2008.
- SHOVEN, J.; WHALLEY, J. Applied general equilibrium models of taxation and international trade: an introduction and survey. *Journal of Economic Literature*. v. 22, n. 3, p. 1007–1051, 1984.
- SHOVEN, J.; WHALLEY, J. *Applying General Equilibrium*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- SMALE, R., HARTLEY, M., HEPBUM, C., WARD, J., GRUBB, M. The impact of CO2 emissions trading on firm profits and market prices. *Climate Policy* v.6, p. 29–46, 2006.
- SPRINGER, U. The market for tradable GHG permits under the Kyoto Protocol: a survey of model studies, *Energy Economics* v.25, n.5, p. 527-551, 2003.
- STAVINS, R.N. *Policy Instruments for Climate Change: How Can National Governments Address a Global Problem?* The University of Chicago Legal Forum, p. 293-329, 1997.
- STERN, N. *The Economics of Climate Change – the Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.
- STONE, R. Linear Expenditure Systems and Demand Analysis: An Application to the Pattern of British Demand. *The Economic Journal*, v. 64, n. 255, p. 511-527, set. 1954.
- SUMNER, J.; LORI, B.; SMITH, H. Carbon Taxes: A Review of Experience and Policy Design Considerations. National Renewable Energy Laboratory Technical Report NREL/TP-6A2-47312. 2009
- SYMONS, E., PROOPS, J., GAY, P. Carbon taxes, consumer demand and carbon dioxide emissions: A simulation analysis for the UK. *Fiscal Studies*, v.15 n.2, p. 19–43, 1994.
- TAMIOTTI, L. *Trade and Climate Change*. Geneva: World Trade Organization, 2009.
- TIETENBERG, T.H. Economic Instruments for Environmental Regulation. *Oxford Review of Economic Policy*, v.6, n.1, p. 17-33, 1990.
- TOL, R. The economic effects of climate change. *Journal of Economic Perspective*, v.23, p. 29–51, 2009.
- TOURINHO, O. A. F.; DA MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. *Uma Aplicação Ambiental de um Modelo de Equilíbrio Geral*. IPEA. Texto para discussão n. 976, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf>. Acesso em Fevereiro de 2010.

TOURINHO, O. A. F.; KUME, H.; PEDROSO, A. C. S. Elasticidades de Armington para o Brasil: 1986-2002. *Revista Brasileira de Economia*. v. 61 n.2, Rio de Janeiro, Abril./Junho 2007.

UK Energy White Paper. *Our Energy Future-Creating a Low carbon Economy*. Fev. 2003. Disponível em: <http://www.berr.gov.uk/file_10719.pdf> Acesso em Dezembro de 2011.

United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. *Investment and Financial Flows To Address Climate Change Bonn*: UNFCCC, 2007. Disponível em

<http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/background_paper.pdf> Acesso em Novembro de 2011.

United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. *Convenção sobre Mudança do Clima*. 2.ed. Brasília: MCT, 2001. 30p. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3996.html>).

VERDE, S. F.; TOL, R. S. J. The distributional impact of a carbon tax in Ireland. *The Economic and Social Review*, v. 40, p.317–338, 2009.

VIOLA, E., *Brazil in the global and regional politics climate*. Global Summit on Sustainable Development and Climate Change. New Delhi, 2009;

WALRAS, L. *Elements of pure economics; or, The theory of social wealth*, New York, 1969.

WATSON, R. T., (Ed.) *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Contributions of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2001.

WEYANT, J. (Ed.) *The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, Energy Journal (Special Issue)*, 1999.

WHALLEY, J.; WIGLE, R. Cutting CO₂ emissions: The effect of alternative policy approaches. *The Energy Journal* v.14, p.109–124, 1991.

WILLIAMS, R. C. Environmental tax interactions when pollution affects health or productivity. NBER Working Paper n. 8.049, 2000.

WING I. S. *Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis*. The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical note N 6, 2004.

WISSEMA, W.; DELLINK, R. AGE analysis of the impact of a carbon energy tax on the Irish economy. *Ecological economics* v. 61, p. 671–683, 2007.

WORLD BANK. *State and Trends of the Carbon Market 2009*. World Bank Report, Washington DC, 2009.

WORLD BANK. *State and Trends of the Carbon Market 2010*. World Bank Report, Washington DC, 2010.

WORLD BANK. *State and Trends of the Carbon Market 2011*. World Bank Report, Washington DC, 2011.

XIE, J., SALTZMAN, S. Environmental policy analysis: an environmental computable general-equilibrium approach for developing countries. *Journal of Policy Modeling*, Nov. 1996.

ZAPFEL, P., VAINI, M. *Pathways to European Greenhouse Gas Emissions Trading History and Misconceptions*. Fondazione Eni Enrico Mattei, 2002.

ZHANG, Z.X. Multilateral trade measures in a post-2012 climate change regime? What can be taken from the Montreal Protocol and the WTO? *Energy Policy* v.37, n.12, p. 5105-5112, 2009.

ZHOU, P.; ANG, B.W. Decomposition of aggregate CO₂ emissions: a production theoretical approach. *Energy Economics* v.30, p.1054–1067, 2008.

YOHE, G.W. The Backward Incidence of Pollution Control—Some Comparative Statics in General Equilibrium. *Journal of Environmental Economics and Management*, v.6, n.3, p.187–98, 1979.

ANEXO 1 - Estrutura teórica e de solução do Modelo BeGreen

1.1 Especificação simplificada estilizada do núcleo central do modelo BeGreen

Em linhas gerais, supõe-se uma economia aberta de N_J setores, $j = 1, \dots, N_J$, divididos em dois tipos: os N_{JJ} setores que produzem mais de um produto das N_{JC} commodities, $c = 1, \dots, N_{JC}$; e os N_{UJ} setores que produzem somente uma das N_{UC} commodities, $c = 1, \dots, N_{UC}$. Como essas N_{UC} commodities são produzidas somente por um setor, então $N_{UJ} = N_{UC}$. Para produzir as N_C commodities ($= N_{JC} \cup N_{UC}$) na economia, os N_J setores usam N_C insumos intermediários de origem doméstica e importada ($s = DeM$), tão bem como N_f fatores de produção: trabalho, capital e terra ($f = L, K e T$). A TABELA 37 fornece as equações do módulo central do modelo BeGreen, definindo as variáveis endógenas e exógenas na versão estilizada do modelo. Os índices são usados como sobrescritos para descrever as dimensões de uma variável. Por exemplo, X_0^{Dcj} representa quantidade produzida domesticamente da commodity c pelo setor j .

O primeiro grupo (a) da TABELA 39 representa a composição de produto e insumo dos setores. Os N_{JJ} setores escolhem uma composição de commodities para ser produzida a fim de maximizar a receita sujeita a uma fronteira de transformação. Diante disto, temos as funções de produção em (7) e (8). Em (8) a produção doméstica total de N_{JC} commodities é a soma da produção setorial (X_0^{Dcj}) corresponde de cada commodity, e em (7) a produção doméstica de c pelo setor j é uma função dos preços domésticos (P_0^{Dc}) e do nível de atividade do setor (Z^j). Em (7) os N_{JJ} setores transformam o seu composto de commodities optando em produzir mais daquela commodity com preço doméstico relativamente mais alto, por isso a razão do preço doméstico aparecer em (7). Dessa maneira, a função de produção (7) é derivada de uma função de agregação CET (*constant elasticity of transformation*). Por outro lado, a produção das N_{UC} commodities é o próprio nível de atividade dos N_{UJ} setores correspondentes (9).

TABELA 39 – Representação estilizada das equações do BeGreen

Grupo	Descrição	Dimensão
A	Composição de produto e insumo	
	$X_0^{Dcj} = Z^j \psi_{0Dcj}(P_0^{Dc})$	$N_{JC} N_{JJ}$ (7)
	$X_{0C}^{Dc} = \sum_{j=1}^{N_{JJ}} X_0^{Dcj}$	N_{JC} (8)
	$X_{0C}^{Dc} = \sum_{j=1}^{N_{IJ}} H^{cj} Z^j$	N_{UC} (9)
	$X_1^{scj} = Z^j \psi_{1scj}(P_1^{sc}; A_1^c)$	$N_S N_C N_J$ (10)
	$L^j = Z^j \psi_{Lj}(W; Q^j; R^j; A_{PF}^j)$	N_J (11)
	$K^j = Z^j \psi_{Kj}(W; Q^j; R^j; A_{PF}^j)$	N_J (12)
	$T^j = Z^j \psi_{Tj}(W; Q^j; R^j; A_{PF}^j)$	N_J (13)
B	Insumos para investimento	
	$X_2^{sij} = Y^j \psi_{2ij}(P_2^{si}; A_2^j)$	$N_S N_I N_J$ (14)
	$P_I^j = \psi_{PIj}(P_2^{si}; A_2^j)$	N_I (15)
C	Demanda das famílias por commodities	
	$X_{3C}^c = \psi_{3c}(C; P_3^c; A_3^c)$	N_C (16)
	$P_3^c = \psi_{P3sc}(P_3^{sc})$	N_C (17)
	$X_3^{sc} = X_{3C}^c \psi_{3sc}(P_3^{sc})$	$N_S N_C$ (18)
	$X_{3SUB}^c = Q_H A_{3SUB}^c$	N_C (19)
	$X_{3LUX}^c = \psi_{Blux}(X_{3C}^c) - [1 - \psi_{Blux}(X_{3SUB}^c)]$	N_C (20)
	$X_{3LUX}^c = \sum_{s=1}^{N_S} P_3^{sc} - \sum_{c=1}^{N_C} \sum_{s=1}^{N_S} P_3^{sc}$	N_C (21)
D	Exportação	
	$X_4^c = \psi_{4c}(P_E^c) + F_4^c + F_{4GEN}$	N_C (22)
E	Outras demandas	
	$X_5^{sc} = F_5^{sc} F_{5TOT} CR$	$N_S N_C$ (23)
	$X_6^{sc} = F_6^{sc} X_{0C}^{sc}$	$N_S N_C$ (24)
F	Demandas por serviços de margens (exemplo: famílias)	

$$X_{3MAR}^{sck} = A_{3MAR}^{sck} X_3^{sc} \quad N_s N_C N_K \quad (25)$$

G Oferta igual à demanda de bens

$$X_{0C}^{Dc} = \sum_{j=1}^{N_J} X_1^{Dcj} + \sum_{j=1}^{N_J} X_2^{Dcj} + X_3^{Dc} + X_4^c + X_5^{Dc} + X_6^{Dc} + \sum_{s=1}^{N_S} \sum_{k=1}^{N_K} X_{3MAR}^{sck} \quad N_C \quad (26)$$

$$X_{0C}^{Mc} = \sum_{j=1}^{N_J} X_1^{Mcj} + \sum_{j=1}^{N_J} X_2^{Mcj} + X_3^{Mc} + X_5^{Mc} + X_6^{Mc} \quad N_C \quad (27)$$

H Condições de lucro econômico zero e algumas especificações de preços

$$\sum_{c=1}^{N_{JC}} P_0^{Dc} X_0^{Dcj} = \sum_{s=1}^{N_S} \sum_{c=1}^{N_C} P_1^{sc} X_1^{scj} + L^j W + Q^j K^j + R^j T^j \quad N_{JJ} \quad (28)$$

$$\sum_{c=1}^{N_{UC}} H^{cj} P_0^{Dc} X_{0C}^{Dc} = \sum_{s=1}^{N_S} \sum_{c=1}^{N_C} P_1^{sc} X_1^{scj} + L^j W + Q^j K^j + R^j T^j \quad N_{UJ} \quad (29)$$

$$P_1^{Mc} = \left[\frac{P_M^c}{\Phi} \right] T_M^c \quad N_C \quad (30)$$

$$P_1^{Dc} = \left[\frac{P_E^c}{\Phi} \right] \quad N_C \quad (31)$$

$$P_3^{sc} = P_{0C}^{sc} T_3^{sc} + \sum_{k=1}^{N_K} P_0^{Dk} A_{3MAR}^{sck} \quad N_s N_C \quad (32)$$

I Impostos indiretos (exemplo: famílias)

$$T_3^{sc} = A_{0T} A_{3T}^c \quad N_s N_C \quad (33)$$

J Variáveis macroeconômicas

$$IPC = \psi_{CPI} \left(\sum_{c=1}^{N_C} P_3^{sc} \right) \quad 1 \quad (34)$$

$$WR = \left(\frac{W}{CPI} \right) A_{WR} \quad 1 \quad (35)$$

$$CR = \left(\frac{C}{CPI} \right) \quad 1 \quad (36)$$

$$LTOT = \sum_{j=1}^{N_J} L^j \quad 1 \quad (37)$$

$$KTOT = \sum_{j=1}^{N_J} K^j \quad 1 \quad (38)$$

$$TTOT = \sum_{j=1}^{N_J} T^j \quad 1 \quad (39)$$

$$PIB_D = C + \sum_{j=1}^{N_I} P_I^j Y^j + \sum_{s=1}^{N_S} \sum_{c=1}^{N_C} P^{sc} X_5^{sc} + \sum_{s=1}^{N_S} \sum_{c=1}^{N_C} P^{sc} X_6^{sc} + \left[\sum_{c=1}^{N_C} (P_E^c / \Phi) X_4^c - \sum_{c=1}^{N_C} (P_M^c / \Phi) X_{0C}^{Mc} \right] \quad 1 \quad (40)$$

$$PIB_R = \sum_{j=1}^{N_I} W^j L^j + \sum_{j=1}^{N_I} Q^j K^j + \sum_{j=1}^{N_I} R^j T^j + \sum_{j=1}^{N_I} A_{PF}^j \quad 1 \quad (41)$$

Estoque de capital, investimento e taxa de retorno

$$K_T^j = [(1 - D^j) K^j] + Y^j \quad N_J \quad (42)$$

$$IK_{RAZÃO}^j = \frac{Y^j}{K^j} \quad N_J \quad (43)$$

$$E_{ROR}^j = \psi_{KG} \left[\left(\frac{K_T^j}{K^j} \right) - 1 \right] + A_{KG}^j + A_{KGT} \quad N_J \quad (44)$$

$$E_{ROR}^j = \psi_{EROR} (Q^j, P_I^j) + A_{EROR}^j \quad N_J \quad (45)$$

M Ajustamento no mercado de trabalho

$$\Delta \frac{WR_T}{WR_{T-1}} = \psi_{WR} \left[\left(\frac{LTOT_{NOR, T-1}}{LTOT_{TEND, T-1}} \right) - 1 \right] + \psi_{WR} \Delta \left(\frac{LTOT_{NOR, T}}{LTOT_{TEND, T}} \right) + A_{WRT} \quad 1 \quad (46)$$

Total do número de equações:

$$N_S N_C N_J + N_S N_I N_J + N_S N_C N_K + N_{JC} N_{JJ} + 5N_S N_C + N_{JC} + N_{UC} + 7N_J + N_I + 10N_C + N_{JJ} + N_{UJ} + 9$$

TABELA 40 – Notação no modelo estilizado

Descrição	Dimensão	Referência
I. Variáveis		
X_0^{Dcj}	Produção de bens domésticos por setor (multiprodução)	$N_{JC} N_{JJ}$ (7)
X_{0C}^{Dc}	Produção total dos bens domésticos (multiprodução)	N_{JC} (8)
X_{0C}^{Dc}	Produção total dos bens domésticos	N_{UC} (9)
X_1^{scj}	Demanda de insumos intermediários	$N_S N_C N_J$ (10)
L^j	Emprego por setor	N_J (11)
Z^j	Nível de atividade no setor	N_J (12)
R^j	Preço da terra por setor	N_J (13)
X_2^{sij}	Demanda de insumos para a criação de capital	$N_S N_I N_J$ (14)
P_I^j	Custo unitário do capital por setor	N_I (15)

X_{3C}^c	Demanda das famílias por bens	N_C	(16)
P_3^c	Preço dos bens demandados pelas famílias	N_C	(17)
X_3^{sc}	Demanda das famílias por c e s	$N_S N_C$	(18)
A_{3SUB}^c	Mudança de preferência na demanda por bens de subsistência	N_C	(19)
X_{3SUB}^c	Demanda das famílias por bens de subsistência	N_C	(20)
X_{3LUX}^c	Demanda das famílias por bens de luxo	N_C	(21)
F_4^c	Deslocamento da função de demanda das exportações	N_C	(22)
X_5^{sc}	Demandas do governo por c e s	$N_S N_C$	(23)
X_6^{sc}	Variação de estoque por bens	$N_S N_C$	(24)
X_{3MAR}^{sck}	Demandas das famílias por margens	$N_S N_C N_K$	(25)
X_4^c	Exportação de commodities	N_C	(26)
X_{0C}^{Mc}	Total de importação de commodities	N_C	(27)
Q^j	Preço da renda do capital no setor (multiprodução)	N_{JJ}	(28)
Q^j	Preço da renda do capital no setor	N_{UJ}	(29)
P_1^{Mc}	Preço básico de bens importados	N_C	(30)
P_1^{Dc}	Preço básico de bens domésticos	N_C	(31)
P_3^{sc}	Preço de compra dos bens demandados pelas famílias	$N_S N_C$	(32)
T_3^{sc}	Poder dos impostos sobre o consumo privado	$N_S N_C$	(33)
IPC	Índice de preço do consumidor	1	(34)
W	Salário nominal médio	1	(35)
CR	Consumo real das famílias	1	(36)
$LTOT$	Total de emprego ($= LTOT_{NOR}$)	1	(37)
$KTOT$	Estoque total de capital (início de ano)	1	(38)
$TTOT$	Oferta total de terra	1	(39)
PIB_D	Produto Interno Bruto (ótica de dispêndio)	1	(40)
PIB_R	Produto Interno Bruto (ótica de renda)	1	(41)
Y^j	Investimento no setor	N_J	(42)
$IK_{RAZÃO}^j$	Razão entre investimento e capital por setor	N_J	(43)
K_T^j	Estoque de capital no setor (fim de ano)	N_J	(44)
E_{ROR}^j	Taxa esperada de retorno no setor	N_J	(45)
A_{WRT}	Deslocamento na equação do salário real	1	(46)

II. Variáveis s

K^j	Estoque de capital no setor (início de ano)	N_J
T^j	Estoque de terra	N_J
C	Dispêndio total das famílias	1
WR	Salário real ($= WR_t$)	1

WR_{T-1}	Salário real em $t-1$	1
Q_H	Número de famílias	1
P_E^c	Preço em moeda estrangeira para exportação	N_C
P_M^c	Preço em moeda estrangeira para importação	N_C
T_M^c	Poder de tarifa sobre a importação de commodities	N_C
Φ	Taxa de câmbio	1
$LTOT_{TEND,}$	Tendência do emprego total (t e $t-1$)	1
A_1^c	Mudança tecnológica no uso de insumos	N_C
A_{PF}^j	Mudança tecnológica do fator primário	N_J
A_2^j	Mudança tecnológica de insumos para o novo capital	N_J
A_3^c	Mudanças nas preferências das famílias	N_C
A_{3MAR}^{sck}	Mudanças nas preferências das famílias pela demanda de margens	$N_S N_C N_K$
F_{4GEN}	Deslocamento total da função de demanda das exportações	1
F_5^{sc}	Deslocamento do consumo do governo	$N_S N_C$
F_{5TOT}	Deslocamento total do consumo do governo	1
F_6^{sc}	Deslocamento da variação de estoque	$N_S N_C$
A_{0T}	Deslocamento dos impostos sobre o consumo de todos os usuários	1
A_{3T}^c	Deslocamento dos impostos sobre o consumo das famílias	N_C
A_{WR}	Deslocamento do salário real	1
A_{KG}^j	Deslocamento do crescimento do capital por setor	N_J
A_{KGT}	Deslocamento total do crescimento do capital	1
A_{EROR}^j	Deslocamento da expectativa de retorno por setor	N_J
D^j	Taxa de depreciação dos setores, tratado como parâmetro	N_J
H^{cj}	Assumi valor um se a commodity c é produzida unicamente pelo setor j , caso contrário zero	$N_C N_J$

Para todos os N_J setores é assumido que a tecnologia de produção apresenta retornos constantes de escala, o que significa dizer que um aumento de $x\%$ em Z^j eleva proporcionalmente a produção das commodities no setor j . Tendo em vista que o nível de atividade se expande em $x\%$, conseqüentemente a demanda por insumos também aumenta proporcionalmente. Diante desta suposição, os insumos, como especificadas nas equações (10) até (13), são demandados em proporção direta ao nível de atividade (Z^j). Estas demandas também dependem dos preços dos insumos e de variáveis

tecnológicas $[A_1^c, A_{PF}^j]$, cujos fatores alteram a localização e a forma da isoquantas de j . Os preços dos insumos aparecem nas funções de demanda pela suposição de minimização de custos.

Em (10) as demandas do setor j para insumos intermediários de bens domésticos e importados dependem exclusivamente dos preços de ambas as variedades $[P_1^{sc}, s = D e M]$. Isto reflete na suposição adotada no modelo BeGreen, a qual bens domésticos e importados são substitutos imperfeitos entre si dentro de um composto de insumo intermediário, não podendo ser substituídos por outros compostos na estrutura de custo de um determinado setor j . Similarmente, da equação (11) a (13), a demanda do setor j por fatores primários (L^j , K^j e T^j) é função do salário (W), preço do capital $[Q^j]$ e preço da terra $[R^j]$. Além disso, no BeGreen, existe a especificação de vetores tecnológicos que é uma composição de tecnologias, determinadas pela escolha de fatores primários e insumos energéticos via Leontief. Essa especificação foi detalhada no capítulo 3, desta tese.

O segundo grupo (b) da TABELA 39 apresenta as funções de demandas de insumos para a criação de capital. Os investidores j , produtores de capital, escolhem os insumos $i (\in N_I = N_C)$ que minimizam os custos para formar Y^j unidades de capital sujeito a uma tecnologia dada. Seguindo a suposição de retornos constantes de escala na função de criação de capital, a demanda por cada variedade s de insumo i depende da quantidade de capital criado (Y^j) pelo setor j , razão pela qual a variação da criação do capital é acompanhada proporcionalmente pelas mudanças nas quantidades de insumos. Além disso, em (14) a demanda por insumos dependem dos preços de ambas as variedades $[P_2^{si}, s = D e M]$ e das variáveis tecnológicas (A_2^i). Estas variáveis também determinam o custo unitário do capital $[P_I^j]$, cujo valor é tratado como o preço de venda de uma unidade de capital (preço de ativo).

O grupo (c) descreve as demandas de cada uma das famílias representativas por commodities. As equações de demanda são derivadas a partir da maximização de uma função utilidade Stone-Geary (STONE, 1954) sujeita a uma restrição orçamentária, conforme apontado no capítulo 3. Os compostos das N_C commodities são agregados por uma função Stone-Geary, levando a um sistema linear de gastos (LES). É neste

nível que a utilidade para cada uma das famílias derivada do consumo da agregação dos N_C compostos é maximizada. Cada composto é definido por uma forma funcional CES, permitindo a substituição imperfeita entre os bens domésticos e importados.

Uma versão estilizada das funções de demanda resultante é dada em (16) até (20). A equação (16) relaciona as demandas de cada família dos N_C bens com: o orçamento familiar (C); as variáveis refletindo as preferências das famílias (A_3^c); e o vetor de preço de compra das commodities (P_3^c). Na equação (17), o preço do consumidor do bem c é determinado como uma função linearmente homogênea dos preços de bens domésticos e importados (P_3^{sc}); e em (18), as demandas por bens domésticos e importados são expressas como funções da equação (16) e dos preços de ambas as variedades (P_3^{sc}) para as famílias. As funções ψ_{3sc} em (18) são homogêneas de grau zero em preços.

Vale salientar que, conforme Peter *et alii* (1996), para analisar a função utilidade Stone-Geary é útil dividir o consumo total de cada composto de commodity em dois componentes: subsistência e de luxo (ou supernumerário). Em (19), X_{3SUB}^c são as demandas por bens de subsistência, as quais são proporcionais ao número de famílias (Q_H) e às demandas de subsistência individual das famílias (A_{3SUB}^c). X_{3LUX}^c , conhecidas como os gastos de bens de luxo, correspondem à alocação restante do orçamento familiar (X_{3C}^c), quando este já fora descontado da parcela dos bens de subsistência (X_{3SUB}^c).

Podemos também notar que os preços usados em (18) e (21) são preços de compra. Em BeGreen, contudo, os preços para todas as demandas dos N_C bens dependem do preço de compra. Aqui simplificamos o modelo BeGreen assumindo que as margens ocorrem somente sobre os fluxos de bens para as famílias e que os impostos são tarifas e impostos sobre o consumo das famílias. Isto denota que os preços das equações dos grupos anteriores são avaliados a preços básicos.

O grupo (d), por sua vez, apresenta as demandas de exportação. O modelo BeGreen trata as exportações em duas categorias de commodities: tradicionais (principalmente os produtos agrícolas e minerais); e não tradicionais (majoritariamente o setor de serviços).

No entanto, a versão estilizada do modelo mostra somente um tratamento [em (22)]: a demanda externa pelo bem doméstico c (X_4^c) depende do preço em moeda estrangeira (P_E^c) e das variáveis de deslocamento (F_4^c e F_{4GEN}). As demandas de exportação são funções decrescentes de P_E^c e, usualmente, as variáveis de deslocamento são exógenas. Mantidas exógenas, as variáveis de deslocamento permitem simular os efeitos dos movimentos nas curvas de demanda externa para um particular bem doméstico c ou para todas as commodities. Alternativamente, deslocamentos endógenos em F_4^c e F_{4GEN} podem ser usados para acomodar previsões exógenas para um particular mercado exportador ou para as exportações agregadas.

O quinto grupo (e) fornece as demandas do governo e variações de estoque para os N_C produtos. Em (23) existem diferentes modos de tratar as demandas do governo (X_5^{sc}). Se F_5^{sc} e F_{5TOT} são mantidos constantes, a demanda do governo para cada bem c (X_5^{sc}) varia conforme as mudanças do consumo privado real (CR). Pode-se, por exemplo, admitir que os efeitos de uma política de bem-estar afetam igualmente os setores privados e públicos no longo prazo. Mudanças relativas entre a demanda do governo e o consumo privado podem ser registradas exogenamente nas variáveis F_5^{sc} e F_{5TOT} . É possível também usar endogenamente F_{5TOT} para ajustar os gastos do governo em relação a uma restrição orçamentária. Em relação às variações de estoque, por seu turno, existe um mecanismo parecido com as demandas do governo no modelo. Se fixarmos exogenamente as variáveis de deslocamento (F_6^{sc}), as alterações no volume de mercadorias, doméstico ou importado, que vão para estoque (X_6^{sc}) são as mesmas das variações da produção doméstica das respectivas commodities. O principal propósito das equações de (24) é facilitar o teste de homogeneidade real (*real homogeneity test*).

O grupo (f) trata as demandas por serviços de margens. Supõe-se que na economia existam N_K serviços de margens, $k = 1, \dots, N_K \subset N_C$, com o papel de facilitar os fluxos das N_C commodities entre pontos de produção (ou porto de desembarque) até os usuários domésticos (ou porto de embarque). O modelo BeGreen também reconhece dois tipos de margens: transporte e comércio. Por hipótese é assumido que todas as demandas de margens se associam com a produção doméstica das N_K commodities que

prestam esse tipo de serviço (i.e. comércio e transporte). As N_K commodities importadas de comércio e transporte não são consideradas como produtoras de margens no modelo. As margens usadas pelas N_C commodities importadas representam os custos de transferências dentro do território nacional (do porto desembarque até o destino do usuário). Diante destas suposições, portanto, as demandas de margens são relacionadas somente para facilitar os fluxos de commodities dentro do Brasil, sendo os serviços de margens produzidos exclusivamente pelas N_K commodities domésticas.

No modelo BeGreen, as demandas por serviços de margens (X_{3MAR}^{scm}) são determinadas por variáveis tecnológicas (A_{3MAR}^{scm}) e de fluxo (X_3^{sc}), conforme apresentadas em (25). Quando as variáveis tecnológicas são fixadas exogenamente, as demandas por serviços de margens tornam-se exclusivamente proporcionais em relação às mudanças do consumo privado (X_3^{sc}) de N_C bens. Além disso, o modelo contém equações similares a (25) para os fluxos de commodities dos demais usuários (e.g. setores do consumo intermediário, investimentos, exportação). Entretanto, como já mencionado, nessa versão estilizada assume-se que não existem serviços de margens associados a estes usuários, apenas para as famílias.

O grupo (g) inclui equações de equilíbrio do mercado para bens demandados domesticamente, ambos domésticos e importados. Em (26) e (27), a oferta de bens domésticos (X_{0C}^{Dc}) e importados (X_{0C}^{Mc}) igualam-se a soma das demandas de ambas as variedades destes bens. Consistente com o modelo BeGreen, as commodities importadas não são diretamente exportadas e nem usadas para satisfazer as demandas de margens.

O grupo (h) fornece as equações das condições de lucro econômico zero para a produção dos N_J setores na economia, tão bem como algumas especificações de preços. O lado esquerdo de (28) e (29) representa as receitas dos N_{JJ} e N_{UJ} setores. O lado direito corresponde os custos de tais setores. Esta igualdade impossibilita a ocorrência de lucros puros. Nas equações dos preços, pode-se observar que o preço recebido pelos importadores de cada commodity c (P_1^{Mc}) resulta o custo de importar a unidade de c em moeda estrangeira (P_M^c), convertido para moeda doméstica a partir de taxa cambial (Φ) e inflado por um poder tarifário (T_M^c). O lado esquerdo de (31) refere-se ao custo

de exportar uma unidade da commodity c (perdas de receita por não vender no mercado interno), cujo valor é definido pelo preço externo de exportar uma unidade do bem c (P_E^c / Φ) em moeda doméstica. Por fim, em (32), o preço de compra das famílias (P_3^{sc}) por bens domésticos e importados é igual ao preço recebido pelos produtores e importadores (P_{0C}^{sc}) inflado pelo poder dos impostos de consumo (T_3^{sc}) mais o custo de transferir uma unidade do bem c dos produtos ou portos de desembarque até as famílias. Como estamos assumindo que somente commodities de margens são utilizadas para a transferência das mercadorias, logo o preço doméstico pelos serviços de margens k é ponderado pelo número de unidades de c requerido por unidade de transferência, isto é, $\sum_{k=1}^{N_K} P_0^{Dk} A_{3MAR}^{sck}$.

O modelo BeGreen contém regras padronizadas para a fixação dos impostos sobre venda no que diz respeito aos produtores, investidores, famílias e governo. As variáveis de impostos sobre venda são tratadas como poderes dos impostos. O grupo (i) é um exemplo disso. É possível simular mudanças no poder dos impostos sobre o consumo das famílias de uma determinada commodity (A_{3T}^c) e sobre todos os usos de todas as commodities (A_{0T}). A variável (A_{0T}) vincula homogeneamente o poder dos impostos para todos os usuários. Admite-se que as variações no poder sobre os impostos do bem c doméstico e importado são iguais.

O grupo (j), por seu turno, apresenta as variáveis macroeconômicas do modelo. A equação (35) fornece o índice de preço do consumidor (CPI) como função dos preços dos bens domésticos e importados (P_3^s) na demanda privada. O salário real (WR) é definido pelo consumo nominal deflacionado pelo índice de preço do consumidor (CPI). Existe também em (35) um deslocamento global dos salários nominais (A_{WR}). Da mesma forma, em (36), o consumo real das famílias (CR) considera o mesmo deflator. $LTOT$, $KTOT$ e $TTOT$ são os totais de emprego de cada fator primário: trabalho, capital e terra, respectivamente. Em (40) temos a definição do Produto Interno Bruto pelo lado do dispêndio (PIB_D) e, em (41), o cálculo do PIB pelo lado da renda (PIB_R).

O grupo (l) contém as equações do mecanismo temporal de estoque de capital, investimento e taxa de retorno. No final do período t , a quantidade de estoque de capital criado para cada setor j (K_T^j) é função do estoque de capital depreciado $[(1 - D^j)K^j]$ e investimento (Y^j) ao longo do ano t . Definindo a taxa bruta de investimento como a razão entre o investimento e o capital no setor j [$IK_{RAZÃO}^j = Y^j / K^j$], então, por manipulação algébrica, podemos obter o crescimento do capital $[(K_T^j / K^j) - 1 = IK_{RAZÃO}^j - D^j]$. Contudo, mudanças no crescimento do capital $[(K_T^j / K^j) - 1]$ são determinadas pela expectativa da taxa de retorno (E_{ROR}^j) de cada indústria j à medida que a variável de deslocamento (A_{KG}^j) mantém exógena. Em (45), a taxa de retorno esperada em cada setor j depende da rentabilidade corrente do capital (Q^j) e do preço do ativo (P_I^j). As expectativas tem a natureza estática e adaptativa. Intuitivamente, conforme Dixon e Rimmer (1998), o aumento do capital na indústria, e, portanto, o nível de investimento, é definido pelo desejo dos investidores de ofertar fundos em face ao crescimento limitado da taxa de retorno esperada no próprio setor. Em outras palavras, admite-se que o crescimento do capital de j no ano t é limitado pelas percepções de risco do investidor, ao invés dos custos de instalação crescentes (via seus efeitos nos custos unitários da construção e outras indústrias fornecedoras de capital). Geralmente no curto prazo observa-se que a taxa de crescimento do capital do setor j e no período t será maior que o seu estado estacionário de crescimento quando a taxa de retorno esperada do investidor for maior que a taxa normal de retorno (corrente) (DIXON e RIMMER, 1998).

Por fim, o grupo (m) apresenta o ajustamento intertemporal no mercado de trabalho, a qual reconhece as variáveis como: salário real (WR), emprego corrente total ($LTOT_{NOR}$) e o emprego tendencial ($LTOT_{TEND}$). Como indicado em (46), podemos assumir nas simulações de política que a projeção do desvio proporcional do salário real no ano t $[\Delta(WR_T / WR_{T-1})]$ é função do desvio na taxa de emprego total no ano $t - 1$ $[(LTOT_{NOR, T-1} / LTOT_{TEND, T-1}) - 1]$ mais um múltiplo positivo da proporção do emprego total no ano $t - 1$ ($LTOT_{NOR, T} / LTOT_{TEND, T}$). Assim, no mecanismo de ajuste, quando o nível de emprego exceder $x\%$ em relação ao emprego tendencial da economia no período t , o salário real aumentará em $\psi_{WR} x\%$. Tendo em vista que existe

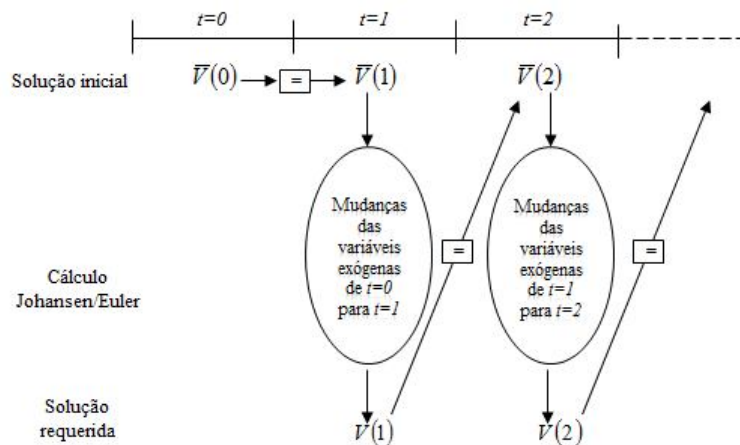
uma relação negativa entre emprego e salário real no mercado de trabalho, o aumento de $\psi_{WR} \times \%$ ajustará o nível de emprego em períodos posteriores até convergir para o nível tendencial. Portanto, enquanto o emprego estiver acima do nível tendencial, o desvio do salário real aumentará, porém com o arrefecimento da sua taxa de crescimento.

1.2 Sequência de solução em modelos dinâmicos-recursivos

A base de dados fornece uma solução inicial para o sistema de equações do modelo BeGreen. No sistema de equações existe uma variável de preço e de quantidade correspondente para cada valor de coeficientes. No entanto, o número de equações é tipicamente menor que o número de variáveis, cuja diferença retrata exatamente a quantidade de variáveis exógenas. O sistema de equações pode ser usado para resolver as repercussões das variáveis endógenas (igual ao número de equações) conforme as mudanças nas variáveis exógenas. A classificação de quais variáveis serão endógenas ou exógenas é flexível e definida a partir de um cenário econômico (fechamento). Isto posto, a simulação nas variáveis exógenas provocam mudanças nas variáveis endógenas, resultando nas alterações dos coeficientes da base de dados do modelo, e traçando assim uma novo retrato da economia.

Entretanto, como estamos tratando de um modelo recursivo-dinâmico, devemos entender como são gerados os dados e soluções para os demais anos. Lembramos que nos modelos recursivo-dinâmicos de equilíbrio geral computável, comumente a solução de cada ano depende do ano corrente e dos anos anteriores. Uma alternativa de gerar dados e soluções iniciais para o demais anos está ilustrada na FIGURA 50. Usa-se a solução requerida do ano $t-1$ (incluindo a solução para os coeficientes da base de dados) como a solução inicial para o ano t . A solução inicial para todos os anos, $\bar{V}(t)$, passa a ser a solução requerida $[V(t-1)]$. Assim, por exemplo, com as mudanças das variáveis exógenas em $t=1$ sobre a solução inicial $[\bar{V}(1)=\bar{V}(0)]$, o cálculo de Johansen / Euler fornecerá os efeitos sobre as variáveis endógenas e, conseqüentemente, uma solução requerida $[\bar{V}(1)]$. Esta solução requerida será a solução inicial no ano $t=2$, a qual será usada pelo cálculo de Johansen / Euler quando mudanças nas variáveis exógenas forem aplicadas.

FIGURA 50 – A sequencia de soluções usando a solução requerida de $t-1$ como solução inicial para t



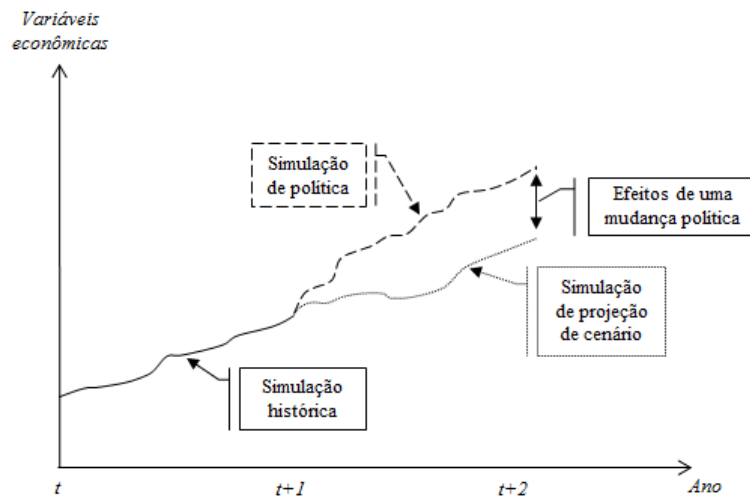
Fonte: Adaptado de Dixon e Rimmer (2002).

Esta alternativa foi adotada para as soluções recursivas no modelo BeGreen, uma vez que este procedimento envolve menores mudanças relativas de efeitos nas variáveis exógenas (i.e. de seu ano $t-1$ até os seus valores em t) para os cálculos de Johansen / Euler (DIXON e RIMMER, 2002; MAI *et al.*, 2010).

As mudanças nas variáveis exógenas são pré-definidas a partir de um cenário econômico (ou numa específica simulação), gerando novos valores requeridos para os coeficientes da base de dados do modelo. Para modelos recursivos-dinâmicos existem basicamente três tipos de simulação: histórica, de projeção de cenário e de política (FIGURA 51). A simulação histórica muda cada um dos coeficientes da base de dados do modelo no ano t para seus valores no ano $t+1$, revelando também a imagem da economia brasileira no ano $t+1$. Quando em um determinado ano os dados históricos já não estão mais disponíveis, usa-se a simulação de projeção de cenários (*forecast simulation*) e fornece-nos uma imagem futura da economia brasileira (e.g. $t+1, t+2, K, t+n$) (DIXON e RIMMER, 2002; MAI *et al.*, 2010). A característica principal da simulação histórica e de projeção de cenários é que ambas são cenários de referência. Aliás, a simulação de projeção de cenários serve como um caminho de controle na qual os desvios são medidos para analisar os efeitos de um choque de política (ADAMS *et al.*, 2002). Dessa maneira, uma simulação de política permite

analisar os efeitos de uma mudança na política econômica, sendo ela um desvio das variáveis econômicas em relação ao cenário de referência.

FIGURA 51 – Tipos de simulação em modelos recursivos-dinâmicos



Fonte: Adaptado de MAI *et al.* (2010).

1.3 Estrutura matemática de BeGreen e o método de solução de Johansen / Euler

A apresentação esquemática das soluções de Johansen / Euler para modelos EGC é padrão na literatura. A seguir é reportado um resumo desse procedimento de forma a se obter uma visão de como o modelo é operacionalizado. Esta apresentação segue a mesma desenvolvida por Dixon e Rimmer (2002) e MAI *et al.* (2010).

O modelo BeGreen é resolvido por métodos de derivadas. Estes métodos consideram as representações lineares das derivadas de primeira ordem de funções não-lineares. O algoritmo de Johansen / Euler segue essas representações lineares. Métodos de derivadas tipicamente usam uma solução inicial e geram desvios nas variáveis endógenas a partir das mudanças nas variáveis exógenas.

Podemos representar o modelo BeGreen pelo seguinte sistema de equações:

$$F(V(t)) = 0 \quad (1)$$

em que $V(t)$ é um vetor de equilíbrio de dimensão n (número de variáveis) representando preços, quantidades e outras variáveis no ano t ; e $F(\bullet)$ é uma função não-linear de dimensão m (número de equações) e diferenciável. Para o ano t é especificado valores de $n - m$ variáveis exógenas e resolve-se a equação (1) com a finalidade de encontrar os valores de m variáveis endógenas. Tem-se uma sequência de soluções vinculadas dos anos $t, t + 1, t + 2, \dots$, por meio de uma geração de trajetória temporal para as variáveis. Os vínculos entre as soluções anuais são fornecidos por defasagens. Por exemplo, admite-se que os estoques de capital no início do ano $t + 1$ (variáveis na solução para o ano $t + 1$) são os mesmos estoques de capital no final do ano t (variáveis na solução para o ano t).

Dentro de qualquer sequência de soluções, a solução para o ano t [i.e. resolvendo a equação (1)] é obtida usando o método de Johansen / Euler⁷⁶. Esse método necessita de uma solução inicial, $\bar{V}(t)$, que satisfaça a equação (1). A partir desta solução inicial, a solução requerida [$V(t)$] é alcançada quando os efeitos sobre as variáveis endógenas são calculados em face às alterações das variáveis exógenas.

Os desvios calculados pelo método Johansen / Euler são fornecidos por meio de um sistema de equações lineares. Em um cálculo de passo único, pode-se utilizar o seguinte sistema:

$$H(\bar{V}(t))dV = 0 \quad (2)$$

sendo $H(\bar{V}(t))$ uma matriz $m \times n$ de derivadas parciais de primeira ordem de $F(\bullet)$ avaliada em $\bar{V}(t)$; e sendo dV um vetor $n \times 1$ de desvios nos valores das n variáveis em relação a $\bar{V}(t)$. O lado esquerdo da equação (2) fornece uma aproximação para o vetor de mudanças nas funções $F(\bullet)$, cujas alterações são causadas pela modificação nos valores das variáveis de $\bar{V}(t)$ para $\bar{V}(t) + dV$. Tendo em vista que o interesse é obter uma nova solução para a equação (1), $H(\bar{V}(t))dV$ é fixado em zero. Esta restrição implica que, de uma solução inicial para uma nova solução, os valores nulos nas funções $F(\bullet)$ permanecerão inalterados. Esta limitação é reconhecida pelos modeladores em EGC.

⁷⁶ Johansen (1960) aplicou uma versão deste método para resolver o seu modelo CGE da Noruega, e Euler, o matemático do século XVIII que criou a teoria do método como um método de integração numérica.

O sistema de equação (2) possibilita tratar as mudanças de todas as variáveis. É possível converter tais desvios na forma de mudanças percentuais. A vantagem desta conversão reside na sua conveniência por não se preocupar com as unidades monetárias (por exemplo). Contudo, algumas variáveis no modelo não podem sofrer esta conversão, pois elas passam por valores zero (e.g. balança comercial), o que tornariam as mudanças percentuais indefinidas.

Dessa maneira, é necessário reescrever a equação (2) distinguindo as variáveis pelas suas formas de desvios, ou seja:

$$A(\bar{V}(t))v = 0 \quad (3)$$

onde o (q,r) -ésimo componente de $A(\bar{V}(t))$ é dado por:

$$A_{q,r}(\bar{V}(t)) = \begin{cases} H_{q,r}(\bar{V}(t)) * \frac{\bar{V}_r(t)}{100} & \text{se } r \text{ é variável de mudança percentual} \\ H_{q,r}(\bar{V}(t)) & \text{se } r \text{ é variável de mudança} \end{cases} \quad (4)$$

Para resolver o modelo é preciso também dividir as variáveis em dois grupos: $n - m$ variáveis exógenas e m variáveis endógenas. Dessa maneira, pode-se reescrever o sistema de equação (3) como:

$$A^\alpha(\bar{V}(t)) * v_\alpha + A^\beta(\bar{V}(t)) * v_\beta = 0 \quad (5)$$

em que

$A^\alpha(\bar{V}(t))$ é uma matriz de dimensão $m \times m$ formada por m colunas de $A(\bar{V}(t))$ correspondendo as variáveis endógenas;

$A^\beta(\bar{V}(t))$ é uma matriz de dimensão $m \times (n - m)$ formada por $n - m$ colunas de $A(\bar{V}(t))$ correspondendo as variáveis exógenas; e

v_α e v_β são vetores de movimentos das variáveis endógenas e exógenas.

Dado os valores para $n - m$ variáveis exógenas, resolvemos o sistema de equações (5) em um passo do cálculo de Johansen / Euler da seguinte maneira:

$$v_{\alpha} = -[A^{\alpha}(\bar{V}(t))]^{-1} * A^{\beta}(\bar{V}(t)) * v_{\beta} \quad (6)$$

Para o sistema de equações (6), podemos obter a solução inicial, $\bar{V}(t)$, pela base de dados do modelo BeGreen (matriz de insumo-produto), a qual apresenta o valor de fluxo de commodities e fatores por setor. Admite-se que os preços são inicialmente fixados em um, revelando-nos a quantidade (variável) para cada coeficiente da base de dados. As propriedades de equilíbrio, contidas nessa base de dados, garantem que esses fluxos de quantidades satisfaçam a condição de igualdade entre a demanda e a oferta para cada commodity. Os preços e quantidades também ajustam as funções de oferta de demanda em BeGreen, pois tais variáveis são usadas para calibrar essas referidas funções.

Deve-se também notar que na equação (6) a matriz $A^{\alpha}(\bar{V}(t))$ é necessariamente não-singular⁷⁷, caso contrário o cálculo de Johansen / Euler falharia. A singularidade da matriz $A^{\alpha}(\bar{V}(t))$ indicaria que as variáveis escolhidas como endógenas não são funções daquelas variáveis definidas como exógenas. Neste caso, existiriam nenhum ou múltiplos valores de variáveis endógenas com respeito aos movimentos específicos no vetor de variáveis exógenas (DIXON *et al.*, 1982).

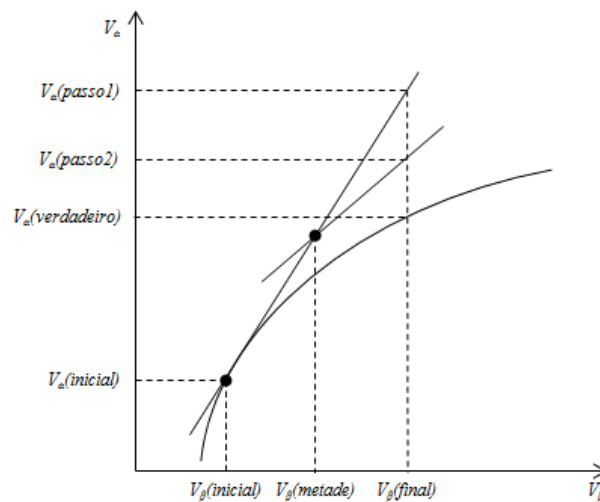
A acurácia dos resultados gerados pelo o sistema de equações (6) depende do tamanho das mudanças nas variáveis exógenas e endógenas. Existe um erro de linearização no sistema de equações, cujas diferenças serão proporcionalmente menores para variações pequenas. Dessa maneira, o cálculo do sistema, como em (6), apresenta uma solução mais precisa para pequenas mudanças nas variáveis. Entretanto, para mudanças maiores, esse erro de linearização deve ser tratado. Para facilitar a exposição, a curva na Figura 54 representa o sistema de equação (1) como um modelo de duas variáveis e uma equação.

Quando usamos (6) para calcular o efeito provocado pela alteração de V_{β} em um determinado ano t [i.e. de $V_{\beta}(\text{inicial})$ para $V_{\beta}(\text{final})$], o erro de linearização corresponde à diferença entre de $V_{\alpha}(\text{passo1})$ para $V_{\alpha}(\text{verdadeiro})$. Entretanto, é

⁷⁷ A matriz é não-singular se e somente se os seus determinantes não são nulos.

possível reduzir esse erro particionando as alterações em V_β . Em um procedimento com dois passos, primeiramente calcula-se os efeitos das mudanças de V_β até a metade [i.e. de $V_\beta(\text{inicial})$ para $V_\beta(\text{metade})$]. Desse modo, é possível visualizar o que acontece com os preços e quantidades e, com isso, atualiza-se a base de dados. No segundo passo, computam-se os efeitos da outra metade de V_β [i.e. de $V_\beta(\text{metade})$ para $V_\beta(\text{final})$]. Este segundo passo usa o sistema de equações (6) sobre os valores determinados no primeiro passo. Portanto, a partir dos novos valores de V_β e V_α , as matrizes de coeficientes $A^\alpha(\bullet)$ e $A^\beta(\bullet)$ são recalculadas e o procedimento é repetido para cada passo.

FIGURA 52 - Os efeitos sobre V_α diante das mudanças de V_β computados para 1 e 2 passos nos procedimentos de Johansen/Euler em cada ano



Fonte: Adaptado de MAI et al (2010).

Esta técnica é conhecida como método de Euler, uma das mais simples opções em técnicas de integração numérica – processo de uso de equações diferenciais para se mover de uma solução para outra. Para uma aproximação em 3 passos o erro de linearização é sensivelmente menor, aproximando-se da solução exata. Quanto maior o número de passos, melhor a aproximação.

Os modelos EGC são operacionalizados no programa GEMPACK.⁷⁸ Além do método de Euler, é possível obter as soluções por dois métodos alternativos, *Gragg* e *Midpoint*. Estes métodos são variações do método de Euler e podem, em alguns casos, produzir resultados mais precisos para um mesmo número de passos. No caso do BeGreen, um procedimento de cálculo em vários estágios (Johansen/Euler) é utilizado, em que o vetor de choques exógenos é dividido em p partes iguais.

ANEXO 2: Cenário macroeconômico 2012-2030

A construção do cenário macroeconômico parte de um modelo teórico de consistência macroeconômica desenvolvido por Giambiagi e Pastoriza (1997), e adaptado para esta tese. Tal modelo foi construído a partir de um conjunto de identidades (contábeis) macroeconômicas e de relações paramétricas entre variáveis macroeconômicas, sendo parte destas variáveis exógenas. Não se trata, portanto, de um modelo de projeção, mas apenas de um modelo de simulação e consistência macroeconômica. Além disso, visto que o modelo foi construído tendo como base tão somente as identidades das Contas Nacionais, o mesmo não apresenta um matiz teórico específico, sendo compatível com as diversas correntes do pensamento macroeconômico.

Sua principal vantagem é a flexibilidade com que é possível modificar as variáveis exógenas e observar o comportamento das variáveis endógenas, tanto fiscais, quanto do setor externo e das Contas Nacionais. O modelo possui ainda a vantagem de ser capaz de identificar possíveis combinações de valores das variáveis exógenas que geram determinados resultados para a dinâmica das variáveis endógenas. É possível, pois, conhecer combinações de valores das variáveis exógenas compatíveis com um quadro de equilíbrio interno e externo. Entre suas desvantagens, está o número excessivo de combinações de valores para as variáveis exógenas e endógenas do modelo que respeitam as identidades contábeis, isto é, que respeitam o requisito de consistência macroeconômica.

⁷⁸ O modelo foi utilizado na versão 10.0 do programa GEMPACK. Sobre sua utilização na implementação de modelos EGC ver Harrison e Pearson (2002).

Nesta seção faz-se breve exposição do modelo que está detalhado em Giambiagi e Pastoriza (1997) e cuja primeira parte está, também, em Giambiagi (1996). O modelo parte de um conjunto de identidades contábeis e de relações paramétricas pré-determinadas, definidas a partir de um sistema de equações que guarda consistência interna entre elas. Essas equações estão estruturadas em quatro blocos: a) Fiscal; b) Contas Nacionais e Mercado de Trabalho; c) Externo; e d) Financiamento do Investimento. Tal modelo considera as seguintes variáveis como exógenas: a taxa de crescimento do PIB real, o déficit operacional do setor público, a taxa de crescimento do PIB potencial, a taxa de investimento do Governo (Governo Central e Estados e Municípios), a taxa de juros real doméstica, a taxa de juros nominal externa (adicionada ao risco-país) e a taxa de crescimento das reservas externas.

No bloco fiscal o setor público está dividido em Governo Central, Estados e Municípios e Empresas Estatais. O crescimento do PIB é uma variável exógena, a partir do qual se obtém a receita fiscal do setor público, transferências a Estados e Municípios e outras transferências vinculadas. As despesas em termos reais com pessoal e benefícios previdenciários crescem a taxa de 4% ao ano, sendo que tais taxas são estipuladas de modo exógeno. Dados o déficit operacional, a taxa de juros e os investimentos, o resultado primário do governo central é endógeno, e a variável de ajuste é representada pelos “outros gastos correntes do governo central”. Estados e municípios e estatais recebem tratamento similar. Em termos agregados, a variável de ajuste é o endividamento público, que é função das Necessidades de Financiamento (NFs) e do financiamento monetário através de senhoriagem. Isto está resumido no Quadro 10.

QUADRO 10 - Características do Bloco Fiscal

<i>Variáveis</i>	<i>Fatores Explicativos</i>
Receita	PIB
Gastos com Pessoal	Exógeno
Benefícios Previdenciários	Exógenos
Transferências Vinculadas	Receita
Juros	Taxa de Juros
Investimento	Exógeno
NFs	Exógenos
<i>Variáveis de Ajuste</i>	<i>Fatores Determinantes</i>
Outros Gastos Correntes	NFs, Receitas e Demais Despesas
Resultado Primário	NFs e Juros
Dívida Pública	NFs e Senhoriagem

Fonte: Giambiagi e Pastoriza (1997, pg. 7)

O bloco de Contas Nacionais tem como variável de ajuste o consumo privado, obtido por resíduo. Este bloco é construído a partir dos gastos do governo, obtidos no bloco fiscal, do investimento privado e das exportações e importações de bens e serviços não-fatores. As taxas de crescimento do quantum das exportações de bens e serviços não-fatores básicos, semimanufaturados e manufaturados foram obtidas fazendo-se uso das elasticidades-renda e das elasticidades-preço das exportações nestas três categorias de bens. Tais elasticidades foram alcançadas a partir de estimações econométricas das equações de exportação de bens básicos, semimanufaturados e manufaturados. A taxa de crescimento do quantum das importações de bens de capital foi obtida fazendo-se uso da elasticidade da demanda de importações de bens de capital em relação à taxa de crescimento do investimento agregado, que, por sua vez, foi alcançada a partir de estimação econométrica. Do mesmo modo, a estimação da equação de importação de bens exceto bens de capital forneceu a elasticidade-renda da demanda de importações desta categoria de bens, permitindo o cálculo da taxa de crescimento do quantum das importações totais exceto de bens de capital. No mercado de trabalho o nível da atividade econômica determina a taxa de desemprego e esta determina o salário real.

A partir de uma taxa pré-determinada (exógena) de crescimento do produto potencial, e após estimada tanto a relação capital/produto potencial, como também a taxa de depreciação do capital, obtém-se o investimento total da economia. O investimento privado é obtido por resíduo, uma vez que os investimentos do Governo Central e de Estados e Municípios seguem uma equação de investimentos pré-determinada. De posse das séries do produto potencial e do produto real (esta última obtida no bloco fiscal), encontrou-se a série para o grau de ocupação da capacidade instalada para o período em análise (Quadro 11).

No bloco de equações do setor externo (balanço de pagamentos), as exportações e importações de bens foram determinadas a partir das taxas de crescimento real destes agregados, estimadas no bloco de Contas Nacionais. As taxas de crescimento dos preços das exportações de bens básicos, semimanufaturados e manufaturados foram estimadas a partir das equações de preços desenvolvidas em Giambiagi e Pastoriza (1997). Uma vez encontradas as taxas de crescimento do quantum e dos preços destas três categorias de bens foi possível obter as séries do valor das exportações em dólares correntes de bens básicos, semimanufaturados e manufaturados. As importações dividem-se em importações totais, exceto de bens de capital, e importações de bens de capital e as

séries de seus valores estão também em dólares correntes no bloco de equações do setor externo – o índice de preços das importações necessário para o cômputo dos valores correntes das importações de bens de capital e das importações totais exceto bens de capital foi estimado tomando-se a média deste índice para o período 1990-2009. O resultado em transações correntes do balanço de pagamentos é financiado pelo aumento do passivo externo da economia, levando-se em consideração a entrada líquida do investimento direto estrangeiro e a variação das reservas externas. Supõe-se que o resto do mundo está sempre disposto a financiar o desequilíbrio externo brasileiro.

Os serviços de fatores estão divididos em pagamento líquido de juros e pagamento líquido de “outros serviços fatores”. Considera-se uma taxa que incide sobre a dívida externa e outra sobre o estoque de capital estrangeiro (líquido) no país. Estas taxas estão associadas ao pagamento do serviço da dívida externa, à remessa de lucros e dividendos ao exterior e demais serviços de fatores. A taxa que incide sobre a dívida externa (pagamento de juros) corresponde à taxa de juros nominal externa somada a uma medida de risco-país. Atinge-se o montante líquido de pagamento de juros a partir, ainda, do cálculo do recebimento de juros incidentes sobre as reservas internacionais do país. A taxa que incide sobre o estoque de capital estrangeiro foi calculada tomando-se como base a média dos seus valores observados entre 2000 e 2007. Tais valores foram calculados a partir dos dados de pagamentos referentes aos citados “outros serviços fatores” obtidos no balanço de pagamentos de 2000 a 2007.

A partir das exportações e importações de bens e de serviços não-fatores, do pagamento líquido do serviço de fatores e de uma equação pré-determinada para as transferências unilaterais, obtêm-se o saldo em transações correntes. A variação das reservas externas se dá por meio de uma taxa definida exogenamente (decisão de política).

Uma vez obtido o saldo em transações correntes e a variação das reservas externas, gera-se a acumulação de dívida externa necessária para financiar o desequilíbrio em conta corrente (e a variação das reservas). A conta de capitais autônomos (conta financeira) do balanço de pagamentos é, deste modo, obtida por resíduo (Quadro 12)

QUADRO 11 - Características do Bloco de Contas Nacionais/Mercado de Trabalho

<i>Variáveis</i>	<i>Fatores Explicativos</i>
Contas Nacionais	
PIB	Exógeno
Consumo do Governo	Exógeno (Associado ao Bloco Fiscal)
Investimento do Governo	Exógeno
Investimento Privado	PIB Potencial
Exportações	Estimação Econométrica
Importações	Investimento Total e PIB
Mercado de Trabalho	
Taxa de Desemprego	Grau de Ocupação da Capacidade Instalada
<i>Variáveis de Ajuste</i>	<i>Fatores Determinantes</i>
Contas Nacionais	
Consumo Privado	PIB, Consumo do Govrno, Investimento Total, Exportações e Importações de Bens e serviços Não-Fatores
Mercado de Trabalho	
Salário Real	Taxa de Desemprego

Fonte: Giambiagi e Pastoriza (1997, pg. 7)

QUADRO 12 - Características do Bloco de Balanço de Pagamentos

<i>Variáveis</i>	<i>Fatores Explicativos</i>
Exportações	Ver Bloco de Contas Nacionais
Importações de Bens (Bens de Capital)	Investimento
Importações de Bens (Outros Bens)	PIB
Exportações de Serviços Não-Fatores	Exportações de Bens
Importações de Serviços Não-Fatores	Importações de Bens
Juros	Dívida Externa Líquida
Saldo de Serviços Fatores (Exclusive Juros)	Estoque de Capital Estrangeiro
Transferências Unilaterais Líquidas	Exógenas
Investimento Direto Líquido	Exógeno
Reservas Externas	Exógenas
<i>Variáveis de Ajuste</i>	<i>Fatores Determinantes</i>
Financiamento Externo	Déficit em onta Corrente, Investimento Direto Líquido
	Deduzida a Variação das Reservas e Regra de Reservas

Fonte: Giambiagi e Pastoriza (1997, pg. 8)

No Bloco de Financiamento do Investimento, a partir da taxa de investimento a preços constantes (Bloco de Contas Nacionais) é obtida a taxa de investimento a preços correntes, que, por definição, é idêntica à taxa de poupança agregada a preços correntes, da qual então se subtrai a taxa de poupança externa – igual à relação déficit em transações correntes/PIB. Assim, chega-se residualmente à taxa de poupança doméstica. Dada a taxa de poupança pública chega-se à poupança privada por resíduo – supõe-se que o resultado líquido das Necessidades de Financiamento do Setor Público, excluídas as empresas estatais e o investimento, é idêntico à poupança pública das Contas Nacionais (Quadro 13).

QUADRO 13 - Características do Bloco de Financiamento do Investimento

<i>Variáveis</i>	<i>Fatores Explicativos</i>
Taxa de Investimento (Preços Constantes)	PIB e Taxa de Investimento (Bloco Contas Nacionais)
Índice de Preço Relativo de Bens de Investimento	Exógeno
Taxa de Investimento (Preços Correntes)	PIB e Índice de Preço Relativo de Bens de Investimento
Taxa de Poupança Total (Preços Correntes)	Taxa de Investimento (Preços Correntes)
Taxa de Poupança Pública	NFs e Investimento do Governo
Taxa de Poupança Externa	Balança Comercial e de Serviços (Bloco Bal. Pagamentos)
<i>Variáveis de Ajuste</i>	<i>Fatores Determinantes</i>
Taxa de Poupança Privada	Taxa de Poupança Total, Pública e Externa

Fonte: Giambiagi e Pastoriza (1997, pg. 9)

As tabelas 41, 42 e 43 apresentam as trajetórias de algumas das variáveis dos blocos Fiscal, das Contas Nacionais e do Balanço de Pagamentos.

Conforme a Tabela 41, o crescimento do PIB do Brasil no biênio 2011-2012 é, em média, inferior a 3,5%, o que pode ser associado ao arrefecimento do crescimento da economia mundial, principalmente das economias da Zona do Euro e dos Estados Unidos, no período citado. Em seguida, verifica-se uma aceleração do crescimento da economia brasileira no biênio 2013-2014 (biênio em que se espera ocorrer aumento dos gastos com investimentos voltados para infraestrutura, principalmente aqueles associados à Copa do Mundo e às Olimpíadas) seguido de uma reversão cíclica até 2018. Entre 2019 e 2030, trabalhou-se com uma taxa de crescimento da economia estável, de 4,5% ao ano. Tanto a receita total, como também a despesa total do setor público cresce entre 2010 e 2030 e tendem à estabilização no final do período (Tabela 38).

TABELA 41 - Principais Resultados- Bloco Fiscal (setor Público Consolidado)

ANOS	Taxa de Crescimento do PIB real (%)	Receita Total Gov central + Estados e Municípios (desconsidera Estadais) (% do PIB)	Despesa Total Gov central + Estados e Municípios (desconsidera Estadais) (% do PIB)	Dívida Líquida Total Setor Público (Exclui Base Monetária) (% PIB)
2010	7,5%	36,20	35,31	40,16
2011	3,3%	37,24	36,44	37,58
2012	3,5%	37,48	36,49	34,12
2013	4,0%	37,63	36,73	30,59
2014	5,0%	37,80	37,10	27,34
2015	4,5%	37,97	37,47	24,92
2016	4,0%	38,11	37,61	22,96
2017	3,5%	38,24	38,44	21,89
2018	3,5%	38,37	38,57	20,85
2019	4,0%	38,52	39,42	19,57
2020	4,0%	38,69	39,59	18,23
2021	4,0%	38,77	39,57	17,08
2022	4,0%	38,85	39,65	15,87
2023	4,0%	38,90	39,70	14,72
2024	4,0%	38,95	39,75	13,61
2025	4,0%	39,00	39,45	12,31
2026	4,0%	39,02	39,52	10,91
2027	4,0%	39,04	39,59	9,62
2028	4,0%	39,05	39,74	8,52
2029	4,0%	39,07	39,87	7,59
2030	4,0%	39,09	39,99	6,79

Fonte: elaboração Cedeplar

A utilização da capacidade instalada parte de 84,8% em 2010 e alcança seu valor máximo de 86,9% em 2025, sugerindo que as pressões inflacionárias, embora crescentes entre 2010 e 2015 e entre 2019 e 2027, não são fortes o suficiente para sugerir um quadro de descontrole da inflação (Tabela 42). A taxa de investimento apresenta comportamento cíclico, como era de se esperar, mas mostra uma tendência de alta no período em análise.

O saldo da balança comercial cai pela metade entre 2011 e 2013, mas recupera-se a partir de 2014 e apresenta tendência crescente a partir de então (Tabela 43). O déficit em transações correntes eleva-se entre 2010 e 2012, mas, passa a apresentar melhoras sucessivas a partir de 2013 sendo que esta rubrica torna-se superavitária após 2022. Este desempenho é explicado, em parte, pelo desempenho da balança comercial no período. As participações das exportações e das importações no PIB crescem entre 2010 e 2030, tendendo a se estabilizar nos últimos anos da série. Todavia, as exportações apresentam, e média, uma taxa de crescimento mais elevada do que as importações, favorecendo a melhora no desempenho da balança de transações correntes (Tabela 43).

TABELA 42 - Principais Resultados – Bloco Contas Nacionais (preços constantes)

Ano	Utilização da Capacidade Instalada (%)	Taxa de Investimento Privado (%)	Taxa de Investimento Público (%)	Taxa de Investimento Total (%)
2010	0,848	15,42	2,98	18,40
2011	0,852	15,58	2,98	18,57
2012	0,854	17,00	3,18	20,18
2013	0,856	18,14	3,35	21,49
2014	0,864	18,29	3,54	21,82
2015	0,867	18,19	3,81	22,00
2016	0,866	18,27	3,75	22,02
2017	0,862	18,16	3,71	21,86
2018	0,858	18,30	3,67	21,97
2019	0,857	18,70	3,56	22,26
2020	0,861	18,73	3,44	22,17
2021	0,864	18,38	3,71	22,09
2022	0,867	18,10	3,90	22,00
2023	0,867	18,95	4,11	23,06
2024	0,867	18,73	4,33	23,06
2025	0,869	17,93	4,56	22,49
2026	0,869	18,51	4,51	23,02
2027	0,869	18,63	4,38	23,02
2028	0,867	19,35	4,23	23,58
2029	0,866	19,57	4,06	23,63
2030	0,864	19,82	3,86	23,67

Fonte: elaboração Cedeplar

TABELA 43 - Principais Resultados do Bloco Balanço de Pagamentos

Ano	Saldo da Balança Comercial milhões de US\$ (correntes)	Saldo em Transações Correntes milhões de US\$ (correntes)	Participação do Saldo em Conta Corrente no PIB	Participação do Saldo Comercial no PIB	Participação das Exportações no PIB	Participação das Importações no PIB
2010	20.266,60	-47.518,00	-2,27	0,97	9,63	8,66
2011	31.453,51	-50.297,39	-2,32	1,45	11,70	10,25
2012	19.843,95	-57.182,47	-2,68	0,93	11,54	10,61
2013	15.215,31	-48.601,75	-2,30	0,72	12,47	11,75
2014	21.840,98	-46.659,51	-2,16	1,01	13,60	12,59
2015	25.885,34	-47.163,07	-2,11	1,16	14,45	13,29
2016	31.331,81	-45.841,76	-1,98	1,35	15,18	13,83
2017	35.316,78	-45.739,07	-1,91	1,47	15,81	14,34
2018	38.388,79	-46.797,44	-1,88	1,54	16,48	14,93
2019	48.269,52	-40.286,55	-1,56	1,87	17,18	15,32
2020	62.651,61	-28.845,10	-1,07	2,32	17,95	15,63
2021	77.923,98	-16.219,98	-0,57	2,76	18,71	15,95
2022	95.625,77	-752,32	-0,03	3,24	19,52	16,28
2023	105.680,58	6.001,54	0,19	3,43	20,36	16,93
2024	127.187,75	25.896,18	0,80	3,95	21,26	17,31
2025	149.056,00	47.607,67	1,41	4,43	21,95	17,52
2026	159.021,26	55.926,99	1,59	4,52	22,60	18,07
2027	161.404,16	56.726,50	1,54	4,39	22,87	18,48
2028	169.793,59	64.480,38	1,68	4,42	23,12	18,70
2029	179.901,23	74.869,44	1,87	4,48	23,24	18,76
2030	190.778,99	86.327,63	2,06	4,55	23,37	18,82

Fonte: elaboração Cedeplar

O desempenho da economia mundial afeta as séries das exportações e o saldo comercial do Brasil entre 2010 e 2030. Neste sentido, a participação das exportações no PIB cai em 2012. Este resultado decorre da queda do crescimento da economia mundial, em especial das economias da Zona do Euro. Decorre, também, da presença de uma taxa de câmbio real bastante apreciada no início da década de 2010 que, por sua vez, só será revertida com a retomada do crescimento da economia mundial, quando então outras economias tornar-se-ão mais competitivas na atração de capitais externos. As baixas taxas de crescimento da economia mundial até 2014 e a apreciação da taxa de câmbio real do Brasil neste período são elementos importantes na explicação do desempenho das exportações e importações brasileiras, como também de seus saldos em transações correntes e comercial.

No quadro 14 encontram-se listados os parâmetros utilizados nos quatro blocos do modelo, os valores e as fontes de dados de suas respectivas estimações.

QUADRO 14: Parâmetros estimados para o modelo de simulação macroeconômica

Parâmetro		Valor	Fonte
Sensibilidade da Receita do Governo Central em relação ao PIB	a	0.95	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB ¹
Taxa de Crescimento Real do PIB	b	4,5%	Exógena
Proporção (da receita do Governo Central) de Transferências a Estados e Municípios (%)	c	0.16	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB
Proporção (da receita do Governo Central) de “Outras Transferências Vinculadas”	d	0.04	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB
Taxa de Crescimento Real das Despesas com Pessoal do Governo Central	e	1.50%	PAC
Taxa de Crescimento das Despesas com Benefícios Previdenciários	f	4% até 2008 e 3% em diante	Exógena
Taxa de variação anual do preço relativo do câmbio	g_c	Média de 1.3% entre 2007 e 2014	Exógena
Senhoriagem	h	0.007	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB
Relação capital/produto	χ	2,58	Giambiagi e Pastoriza (1997)
Coefficiente de depreciação do estoque de capital	α	0,04	Giambiagi e Pastoriza (1997)
Elasticidades das Funções de Exportação de Bens Básicos	$\gamma 1$ a $\gamma 4$	Valores na Bibliografia	Giambiagi e Pastoriza (1997)
Elasticidades das Funções de Exportação de Bens Semimanufaturados	$\gamma 5$ a $\gamma 13$	Valores na Bibliografia	Giambiagi e Pastoriza (1997)
Elasticidades das Funções de Exportação de Bens Manufaturados	$\gamma 14$ a $\gamma 20$	Valores na Bibliografia	Giambiagi e Pastoriza (1997)
Elasticidade da taxa de desemprego aberto em relação ao grau de capacidade ociosa		0,24	Estimação própria a partir dos dados do ipeadata
Relação entre exportações de serviços não fatores e exportação total de bens (%)	T_x	7%	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB
Relação entre importações de serviços não fatores e importação total de bens (%)	T_m	17%	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB
Elasticidade da importação de bens de capital em relação ao investimento	mBK	2,4	Estimação Própria a partir dos dados do ipeadata
Elasticidade da importação total exclusive bens de capital em relação à taxa de crescimento do produto agregado	$mB0$	1,17	Estimação Própria a partir dos dados do ipeadata
Percentual médio do estoque de capital estrangeiro no país que corresponde ao pagamento líquido de “Outros Serviços de Fatores”	r	8%	Estimação Própria a partir dos dados do Boletim do BCB
Taxa de crescimento do PIB Potencial	b^*	Variável	Exógena
Taxa de crescimento real da economia mundial	w	3,7% a.a. ²	FMI-World Economic Outlook
Taxa de crescimento da produtividade	φ	1,5% a.a.	Giambiagi e Pastoriza (1997)
Taxa de inflação externa	Pe	3,7% a.a. ³	FMI-World Economic Outlook

Fonte: elaboração própria. ¹⁻ BCB = Banco Central do Brasil. ²⁻ Tomou-se a taxa projetada (em abril de 2007) para 2008 como constante para o resto da série. ³⁻ Média dos valores projetados no período para o qual há dados disponíveis, 2008-2013.

ANEXO 3 Análise de sensibilidade

A crescente utilização dos modelos de equilíbrio geral computável (EGC) para o Brasil tem tomado novas dimensões, conforme se observa na literatura recente. Todavia, a estimação econométrica de parâmetros-chave desses modelos não acompanhou este avanço, o que pode ser justificado, muitas vezes, pela escassez de dados.

Na implementação do modelo, uma série de parâmetros comportamentais são utilizados. Algumas são baseados em estimativas econométricas e outros são atribuídos valores com base em conhecimentos econômicos e suposições. Pode não ser válida a alegação de que todos os parâmetros utilizados no modelo refletem a realidade. Essa dependência de estimativas para determinar os valores de elasticidade no processo de calibração do modelo é um tópico muito questionado, principalmente por aqueles que não utilizam a metodologia.

Assim, a análise de sensibilidade dos parâmetros se tornou uma questão primordial quando da utilização de modelos EGC. Como o foco desta tese são políticas de baixo carbono, foi dada uma atenção especial a parâmetros considerados chaves para este trabalho, especificamente as elasticidades de substituição energética e tecnológica, utilizadas nas estruturas de produção dos setores estruturados por compostos energéticos e nos setores com vetores tecnológicos, respectivamente⁷⁹ e também os parâmetros utilizados dentro do mecanismo de dinâmica recursiva. Estas tem importância fundamental na robustez dos resultados obtidos, o que torna a análise de sensibilidade uma etapa importante do estudo.

A análise de sensibilidade sistemática empregada neste trabalho segue a metodologia de quadratura gaussiana proposta por DeVuyst e Preckel (1997). Nessa abordagem, o modelo EGC é tratado como um problema de integração numérica no qual a solução do modelo (resultado das variáveis endógenas) pode ser obtido simultaneamente, além de seus dois primeiros momentos (média e variância), dada uma distribuição das variáveis exógenas (parâmetros ou choques). Assim, as estimativas de média, desvio padrão e intervalos de confiança para os resultados do modelo podem ser obtidos. Estas informações representam dados qualitativos a respeito da sensibilidade dos resultados

⁷⁹ Esta estimação foi realizada no Capítulo 3 e as regressões reportadas no Apêndice 1.

do modelo a parâmetros específicos, e podem sugerir os elementos para onde a atenção do pesquisador deve estar focada.

Dadas as considerações acima, a análise de sensibilidade sistemática consistiu em testar a robustez das elasticidades de substituição energética (ESUBREN, ESUBNREN, ESUBAUTO, ESUBENER, SIGMA3COM), tecnológica (ESUBTB) e os parâmetros necessários para o módulo de dinâmica recursiva (ALPHA e ELASTWAGE) calibrados conforme descrito na seção 3. O teste de sensibilidade estabeleceu um intervalo de 50% para esses parâmetros, com distribuição uniforme. Dado o número de simulações, cenários e parâmetros, períodos simulados (20 anos) e grande número de resultados, decidiu-se aplicar a análise à simulação da imposição de meta de redução de emissões em 5%⁸⁰.

Os testes de sensibilidade mostraram que os resultados agregados (PIB, investimento, consumo, etc) para todas as elasticidades são robustos, se mostrando muito pouco sensíveis à variação das elasticidades supracitadas. Nos anos iniciais, os resultados são muito robustos, aumentando levemente o coeficiente de variação – medido pela divisão da média pelo desvio padrão – apenas no final do período simulado (2026 a 2030), para a elasticidade do investimento (ALPHA), notadamente para os resultados de exportações e importações.

Quanto aos impactos setoriais, os resultados de alguns setores se mostraram sensíveis à parametrização. No caso da elasticidade do investimento (ALPHA) cinco setores se mostraram sensíveis. São eles, Automóveis e utilitários, Água, esgoto e limpeza urbana, Serviços de manutenção e reparo, Transmissão e distribuição de energia elétrica e Indústrias diversas. Outros dois setores apresentaram sensibilidade moderada: Artigos do vestuário e Máquinas elétricas. Em contrapartida, nenhum resultado setorial foi sensível as demais elasticidades (ESUBREN, ESUBNREN, ESUBAUTO, ESUBENER, SIGMA3COM), mostrando robustez nos resultados.

Investigando os resultados referentes aos setores estruturados por vetores tecnológicos, no entanto, percebe-se que algumas tecnologias foram sensíveis a elasticidade de substituição CRESH para as tecnologias. Os resultados mostraram-se sensíveis para a tecnologia de Hidroeletricidade, e mais levemente, para a energia Eólica, acarretando

⁸⁰ Como se trata de um grande número de resultados, demais resultados podem ser disponibilizados mediante solicitação.

em uma menor robustez do resultado do setor de Geração de eletricidade. Dada tais sensibilidades, é importante tomar com cautela os resultados encontrados para este setor. A análise de sensibilidade mostra que a especificação de vetores tecnológicos deste setor merece futuras investigações.

Assim como para os resultados para as emissões por fontes, os efeitos sobre as famílias (consumo e utilidade) são robustos para todas as elasticidades analisadas.