

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

JORGE HENRIQUE NORÕES VIANA

**IMPACTOS DOS INVESTIMENTOS NO SETOR ENERGÉTICO
BRASILEIRO SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂: UMA ABORDAGEM DE
EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL**

**João Pessoa, PB
2011**

JORGE HENRIQUE NORÕES VIANA

Impactos dos investimentos no setor energético brasileiro sobre as emissões de CO₂: uma abordagem de equilíbrio geral computável

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em cumprimento as exigências de conclusão do Curso de Mestrado em Economia.

Orientador: Prof. Ignácio Tavares de Araújo Júnior

João Pessoa, PB
2011

V614i *Viana, Jorge Henrique Norões.*

Impactos dos investimentos no setor energético brasileiro sobre as emissões de CO₂: uma abordagem de equilíbrio geral computável / Jorge Henrique Norões Viana. - João Pessoa: [s.n.], 2011.

103f. : il.

Orientador: Ignácio Tavares de Araújo Júnior.

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCSA.

1.Economia. 2.Investimentos em energia. 3.Emissões de CO₂..

UFPB/BC

CDU: 33(043)

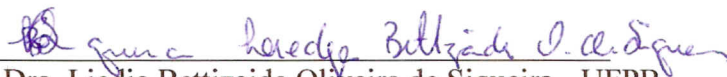
JORGE HENRIQUE NORÕES VIANA

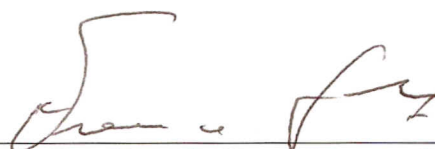
**IMPACTOS DOS INVESTIMENTOS NO SETOR ENERGÉTICO
BRASILEIRO SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂: UMA ABORDAGEM DE
EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em cumprimento as exigências de conclusão do Curso de Mestrado em Economia.

Submetida a apreciação da banca examinadora em: 01/03/2011


Prof. Dr. Ignácio Tavares de Araújo Júnior - UFPB
Orientador


Profa. Dra. Liedje Bettizaide Oliveira de Siqueira - UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. Francisco de Sousa Ramos - UFPE
Examinador Externo

Aos meus pais, meus exemplos de
vida. DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Josué e Luiza, e meus irmãos, Josué Henrique e Milena, pelo apoio e pela confiança.

A todos os meus amigos, os da faculdade e antes dela, que me acompanharam e confiaram no meu potencial, quando nem eu acreditava.

Ao meu orientador, Ignácio Tavares de Araújo Júnior, sem o qual não teria conseguido concluir o meu trabalho. Pela paciência e pelo esforço em me mostrar o caminho a seguir.

A todos os meus professores da graduação e pós-graduação em Economia. Mas de maneira especial, a Ivan Targino Moreira, Paulo Aguiar do Monte, Luciano Menezes Bezerra Sampaio e Carlos Eduardo Gasparini, pelos ensinamentos e oportunidades concedidas. E às secretárias: Terezinha, Risomar e Carol; pelo suporte prestado ao longo do curso.

*Nem todos que tentaram conseguiram,
mas todos que conseguiram tentaram.*

Anônimo

RESUMO

Este estudo trata dos efeitos de um aumento dos investimentos destinados a produção de energia, sobre as emissões de CO₂ e as principais variáveis macroeconômicas. Os dados necessários à sua elaboração foram obtidos junto ao Ministério de Minas e Energia, ao IBGE e o Intergovernmental Panel on Climate Change. Para cumprir com esses objetivos, os insumos energéticos foram divididos em dois grupos: energéticos “limpos” e “sujos”; com base nos seus coeficientes de emissões de CO₂ em 2006. Em seguida, foram simulados cenários com: aumentos nos investimentos equivalentes a 1% do PIB em 2006, para cada grupo de energético; bem como cenários envolvendo um imposto ambiental de R\$ 100,00 por tonelada de CO₂; para um horizonte de tempo de dez anos, utilizando um Modelo de Equilíbrio Geral Computável sequencial. Os resultados dessas simulações mostraram que existiu uma relação direta entre o aumento dos investimentos em energia e: o processo de acumulação de capital, o crescimento do PIB real, a evolução do bem-estar, a evolução das emissões de CO₂ e a evolução da intensidade de poluição por CO₂. Enquanto isso, os resultados para as simulações envolvendo o imposto ambiental mostraram que o mesmo implicou, de maneira geral, em: desaceleração do processo de acumulação de capital, crescimento do PIB abaixo do estado estacionário, forte redução do bem-estar e redução crescente das emissões e da intensidade da poluição. Especialmente, a combinação de um aumento dos investimentos destinados a produção de energia limpa, com a adoção do imposto ambiental, foi capaz de gerar, simultaneamente: aceleração da acumulação de capital (2,70%) e crescimento do PIB real (1,08%); aumento do bem-estar (R\$ 33 bilhões); e redução das emissões (-1,21%) e da intensidade da poluição (-2,26%).

Palavras-Chave: INVESTIMENTOS EM ENERGIA. EMISSÕES DE CO₂. MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL.

ABSTRACT

This study analyses the effects of an increase in investments to energy production, over the emissions of CO₂ and the main macroeconomic variables. The data required for their preparation were obtained from the Ministry of Mines and Energy, the IBGE and the Intergovernmental Panel on Climate Change. To meet these goals, the energy inputs were divided into two groups: energy "clean" and "dirty"; based on their coefficients of CO₂ emissions in 2006. Then, were simulated scenarios with: increases in investment equivalent to 1% of GDP in 2006, for each energy group, as well as scenarios involving an environmental tax of R\$ 100.00 per ton of CO₂; for a time horizon of ten years, using a sequential Computable General Equilibrium Model. The results of these simulations showed that there was a direct relationship between increased investments in energy and: the process of capital accumulation, the real GDP growth, the evolution of welfare, the evolution of CO₂ emissions and changes in the intensity of CO₂ pollution. Meanwhile, the results for simulations involving the environmental tax shown that it implied, in general, in: slowdown in capital accumulation, GDP growth below the steady state, a strong reduction of welfare and increasing reductions of emissions and intensity of pollution. Especially, the combination of an increase in investments for clean energy production, with the adoption of the environmental tax, was able to generate, simultaneously: accelerated accumulation of capital (2,70%) and real GDP growth (1,08%), increase of the welfare (R\$ 33 billion) and reduction of the emissions (-1,21%) and intensity of pollution (-2,26%).

Keywords: ENERGY INVESTMENT. CO₂ EMISSIONS. COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM MODEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do processo produtivo do modelo.....	35
Figura 2 – Matriz de contabilidade social estilizada.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da taxa de crescimento do PIB e da oferta interna de energia no Brasil, em percentual. 1980 a 2009.....	19
Gráfico 2 – Evolução da taxa de crescimento do capital total. IDEX_L.....	58
Gráfico 3 – Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_L.....	59
Gráfico 4 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_L.....	60
Gráfico 5 – Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_L.....	61
Gráfico 6 – Evolução das emissões totais de CO ₂ , em milhões de toneladas. IDEX_L.....	62
Gráfico 7 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_L.....	62
Gráfico 8 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_L.....	63
Gráfico 9 – Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_S.....	65
Gráfico 10 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_S.....	65
Gráfico 11 – Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_S.....	66
Gráfico 12 – Evolução das emissões totais de CO ₂ , em milhões de toneladas. IDEX_S.....	66
Gráfico 13 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_S.....	67
Gráfico 14 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_S....	67
Gráfico 15 - Evolução da taxa de crescimento do capital total. BAU_tco ₂	69
Gráfico 16 - Evolução da taxa de crescimento do PIB real. BAU_tco ₂	70
Gráfico 17 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. BAU_tco ₂	70
Gráfico 18 - Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. BAU_tco ₂	71
Gráfico 19 – Evolução das emissões totais de CO ₂ , em milhões de toneladas. BAU_tco ₂	71
Gráfico 20 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. BAU_tco ₂	72
Gráfico 21 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. BAU_tco ₂	72

Gráfico 22 - Evolução da taxa de crescimento do capital total. IDEX_L_tco ₂	73
Gráfico 23 - Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_L_tco ₂	74
Gráfico 24 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_L_tco ₂	74
Gráfico 25 - Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_L_tco ₂	75
Gráfico 26 – Evolução das emissões totais de CO ₂ , em milhões de toneladas. IDEX_L_tco ₂	76
Gráfico 27 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_L_tco ₂	76
Gráfico 28 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_L_tco ₂	77
Gráfico 29 - Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_S_tco ₂	78
Gráfico 30 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_S_tco ₂	78
Gráfico 31 - Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_S_tco ₂	79
Gráfico 32 – Evolução das emissões totais de CO ₂ , em milhões de toneladas. IDEX_S_tco ₂	80
Gráfico 33 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_S_tco ₂	80
Gráfico 34 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_S_tco ₂	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equivalência entre os produtos energéticos na MCS 2006 e no BEN 2007.....	48
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume de emissões de CO ₂ , em milhões de toneladas e participação de cada produto, em percentual. 2006.....	50
Tabela 2 – Coeficientes de emissão de CO ₂ para produtos energéticos da MCS 2006, em milhões de toneladas de CO ₂ por milhões de reais de demanda doméstica.....	51
Tabela 3 – Principais parâmetros do MEGC.....	52
Tabela 4 – Elasticidades de substituição entre capital e trabalho, de Armington e de transformação entre exportações e vendas domésticas.....	53
Tabela 5 – Teste de homogeneidade.....	57
Tabela 6 – Investimentos extras anuais destinados a produção de energéticos “limpos”, em R\$ milhões.....	58
Tabela 7 - Investimentos extras anuais destinados a produção de energéticos “sujos”, em R\$ milhões.....	64
Tabela 8 – Alíquotas do imposto ambiental, em percentual.....	68
Tabela 9 – Principais resultados das simulações em relação à BAU para o último período....	82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALCA	Área de Livre Comércio das Américas
BAU	<i>Business as Usual.</i>
BAU_tco2	Simulação de um imposto ambiental de R\$ 100,00 por tonelada de CO ₂
BEN	Balanco Energético Nacional
CC	Conta de Capital
CES	<i>Constant Elasticity of Substitution.</i>
CET	<i>Constant Elasticity of Transformation.</i>
CGEM	<i>Computable General Equilibrium Model.</i>
CNS	<i>Constrained Nonlinear System</i>
EOB	Excedente Operacional Bruto
G	Governo
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GTAP	<i>Global Trade Analysis Project</i>
HH	<i>Household.</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEX_L	Simulação de aumento dos investimentos destinados aos insumos energéticos "limpos"
IDEX_L_tco2	Simulação de aumento dos investimentos destinados aos insumos energéticos "limpos" e adoção de um imposto ambiental
IDEX_S	Simulação de aumento dos investimentos destinados aos insumos energéticos "sujos"
IDEX_S_tco2	Simulação de aumento dos investimentos destinados aos insumos energéticos "sujos" e adoção de um imposto ambiental
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change.</i>
K	Capital
L	Trabalho
MC	Margem de Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Margem de Transporte
OC	Óleo Combustível
OD	Óleo Deisel

P&G	Petróleo e Gás Natural
PIB	Produto Interno Bruto
ROW	<i>Rest of the World.</i>
SAM	<i>Social Accounting Matrix.</i>
SIUP	Serviços Industriais de Utilidade Pública
TRUs	Tabelas de Recursos e Usos
VE	Variação Equivalente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 ENERGIA, CRESCIMENTO EMISSÕES DE CO ₂	20
2.1 Teoria.....	20
2.2 Evidências empíricas.....	24
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	28
3.1 Equações do modelo.....	30
3.1.1 Preços.....	31
3.1.2 Produção.....	33
3.1.3 Renda e poupança.....	35
3.1.4 Demanda.....	37
3.1.5 Comércio exterior.....	37
3.1.6 Equilíbrio.....	38
3.1.7 Ambiental.....	39
3.1.8 Bem-estar.....	40
3.1.9 Acumulação de capital.....	40
3.1.10 Atualização das variáveis exógenas.....	42
3.2 Descrição da base de dados.....	43
3.2.1 Descrição da Matriz de Contabilidade Social do ano de 2006.....	43
3.2.2 Cálculo dos coeficientes de emissões de CO ₂	47
3.2.3 Valores dos parâmetros.....	51
3.3 Estratégias de simulação.....	53
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	57
4.1 Investimentos na produção de energéticos “limpos” (IDEX_L).....	57
4.2 Investimentos na produção de energéticos “sujos” (IDEX_S).....	63
4.3 Adoção de um imposto ambiental (BAU_tco ₂).....	68
4.4 Investimentos na produção de energéticos “limpos” e adoção de um imposto ambiental (IDEX_L_tco ₂).....	73
4.5 Investimentos na produção de energéticos “sujos” e adoção de um imposto ambiental (IDEX_S_tco ₂).....	77
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE A: Lista de variáveis.....	92

APÊNDICE B: Calibração da taxa de depreciação no estado estacionário.....	95
APÊNDICE C: Estoque de capital.....	96
APÊNDICE D: MCS 2006.....	97
APÊNDICE E: Testes de sensibilidade.....	103

1 Introdução

Nos últimos anos, cresceu a preocupação dos agentes econômicos com as emissões de gases causadores do efeito estufa. Isto se deve, principalmente, ao fato de que os efeitos nocivos dessas emissões – degradação do meio-ambiente, redução da biodiversidade e aumento do nível dos oceanos – têm se tornado cada vez mais tangíveis para a sociedade. Contudo, até que ponto a humanidade têm contribuído nesse processo ainda é incerto.

É sabido que grande parte das emissões daqueles gases, por parte do homem, está intimamente relacionada ao uso de combustíveis - em especial às emissões de CO_2 ¹. Pelo fato de os combustíveis serem insumos de vital importância na produção de uma ampla gama de bens em qualquer economia, os efeitos de uma mudança na matriz energética, em direção a uma menos ou mais poluente, têm consequências que se fazem sentir em toda a estrutura econômica de um país.

Existem, basicamente, dois problemas que retardam um movimento na direção de uma matriz energética menos poluente. O primeiro problema, é que não parece razoável que aconteça uma mudança espontânea na matriz energética de um país, em favor do uso de combustíveis menos “sujos”. Isto porque, admitindo-se que as empresas busquem a maximização dos lucros e que o uso de insumos energéticos mais “sujos” seja mais vantajoso e mais barato para elas, não há porque as empresas promoverem esta mudança espontaneamente. Ao agirem dessa forma, as empresas geram externalidades negativas, pois não levam em consideração, no seu processo decisório, os custos sociais associados ao uso de energéticos mais poluentes; sendo assim, a intervenção estatal, através de uma política de mitigação das emissões de CO_2 , passa a ser justificável (VARIAN, 1992b).

Outro problema é fruto direto da necessidade do uso de energia para a produção de bens. Por mais que os avanços tecnológicos recentes tenham levado ao uso e à produção mais eficiente de recursos energéticos, ainda não chegamos ao tempo em que é possível aumentar a produção dos bens, em geral, sem aumentar o uso deste tipo especial de insumo. Decorre daí, uma correlação positiva entre o crescimento econômico e as emissões de CO_2 .

Este segundo problema talvez não seja tão grande no Brasil quanto o é em outros países, devido ao fato de nossa eletricidade ser, em geral, de origem hidrelétrica², que apesar

¹ Por ser o principal gás causador do efeito estufa e por razões de simplicidade, somente as emissões de dióxido de carbono foram consideradas no presente estudo. Dentre outros gases causadores do aquecimento global, tem destaque o dióxido de enxofre (SO_2), maior responsável pela formação das chuvas ácidas, e o metano (CH_4), com uma capacidade de reter calor 21 vezes maior que o CO_2 (FERREIRA FILHO; ROCHA, 2007)

² Cerca de 73% em 2006, segundo dados do Ministério de Minas e Energia (2007).

de gerar outros tipos de problemas ambientais, é uma das mais “limpas” formas de se gerar energia. Todavia, ainda que nosso conjunto de bacias hidrográficas tenha permitido o uso extensivo da hidroeletricidade, historicamente outras fontes de energia têm sido reconhecidamente mais eficientes para outros fins. Por exemplo: o uso de derivados do petróleo e do gás natural nos veículos automotores; onde a eletricidade ainda parece longe de se tornar, de fato, uma alternativa viável economicamente em grande escala. Este fato parece ser verdade para vários setores, posto que, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional 2007 (BEN 2007) apenas 16,5% do consumo final de energia no Brasil em 2006 foi satisfeito pela eletricidade, enquanto os principais insumos poluentes - gás natural, álcool etílico e derivados do petróleo – responderam por cerca de 52% daquele consumo (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

No entanto, independentemente da configuração da sua matriz energética, o Brasil não é exceção no que tange à necessidade de energia para a produção de bens. Esse fato é corroborado pelas trajetórias das taxas de crescimento anual do PIB (a preços de 1980) e da oferta interna de energia no Brasil, entre 1980 e 2009, registradas no Gráfico 1. Trajetórias que apresentaram comportamento bastante similar, com um coeficiente de correlação de 72,18%. Não obstante os episódios como o do “apagão” energético entre 2001 e 2002, evidenciarem a falta de investimentos na produção de energia no Brasil, esta correlação positiva entre oferta de energia e crescimento econômico não é descoberta nova e a muito tempo tem sido alvo, pelo menos em tese, dos formuladores de política econômica. Prova disso, é que desde o plano Salte (1947 – 1951) até o Programa de Aceleração do Crescimento (2007 – 2010), passando pela caracterização de pontos de estrangulamento e de germinação da economia brasileira feita pela Comissão Mista Brasil Estados Unidos (1951 – 1953), pelo Plano de Metas (1957 -1961) e pelo II Plano Nacional de Desenvolvimento (1974 – 1978), o setor energético sempre esteve entre os setores considerados como chaves para o crescimento econômico do Brasil (VIANNA; VILLELA, 2005, VILLELA, 2005, HERMAN, 2005).

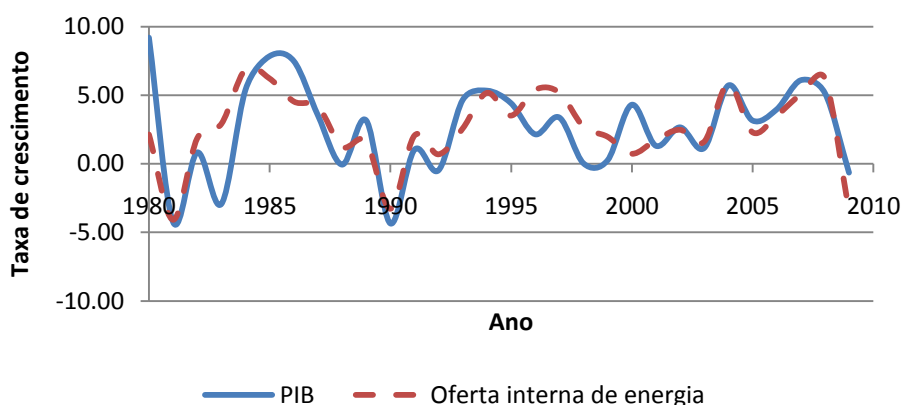


Gráfico 1 – Evolução da taxa de crescimento do PIB e da oferta interna de energia no Brasil, em percentual. 1980 a 2009.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Ipeadata (2010) e do Ministério de Minas e Energia (2010).

Soma-se ao histórico de insucesso do Estado brasileiro de fomentar um aumento da oferta interna de energia, as pretensões nacionais de crescimento do PIB por volta de 5% por longos períodos de tempo e tem-se que o país precisa aumentar seus investimentos no setor energético nacional, para que passe a dispor de uma oferta interna de energia que não apenas seja condizente com o crescimento econômico que busca, mas que seja uma oferta de energia que não dependa, substancialmente, de importações.

Posto que seja verdade que o crescimento econômico necessite de um aumento na produção de insumos energéticos, inclusive dos poluentes, também deve ser verdade que um aumento dos investimentos na produção de energia deve levar a um aquecimento de uma economia nacional e, por conseguinte, um aumento das emissões de dióxido de carbono e alterações no nível de bem-estar. Desta feita, o problema de pesquisa desta dissertação é, em linhas gerais, o de encontrar respostas para a seguinte questão:

Quais os efeitos, sobre as emissões de CO₂, crescimento econômico e bem-estar, de um aumento dos investimentos nos setores produtores de insumos energéticos no Brasil?

A justificativa para o foco nesse problema se dá pelo fato do mesmo ser ainda um tópico incipiente na literatura econômica, sobretudo na literatura nacional, enquanto que o outro - a necessidade de intervenção estatal, para forçar um movimento na direção de uma matriz energética menos poluente – já tem merecido razoável atenção da agenda de pesquisa nacional³. Além do mais, ao estudar a correlação entre emissões de CO₂ e o crescimento econômico, por meio dos impactos dos investimentos na produção de insumos energéticos,

³ Ver, por exemplo, Tourinho, da Motta e Alves (2003), Feijó e Azevedo (2006), Feijó e Porto Júnior (2007) e Ferreira Filho e Rocha (2007).

torna-se possível o estudo de políticas econômicas, ao mesmo tempo: pró-crescimento e mais “ambientalmente amigáveis”⁴.

Com vistas à resolução deste problema, de forma satisfatória, tem-se como objetivo geral da dissertação: **analisar como um aumento dos investimentos no setor energético brasileiro afeta as emissões de CO₂, o PIB e o bem-estar.**

Objetivo geral este, que engloba os seguintes objetivos específicos listados abaixo:

- Analisar o comportamento do estoque de capital e do PIB, antes e depois de aumentos nos investimentos do setor energético e introdução de um imposto sobre as emissões de carbono;
- Explicitar quais as implicações de bem-estar dos choques;
- Calcular as variações nas emissões de CO₂, bem como determinar que fatores resultam nessas variações.

Além desta introdução, esta dissertação se subdivide em mais quatro capítulos. No segundo capítulo tem-se a revisão da literatura, em que são apresentadas as principais produções bibliográficas que serviram de base para a sua formulação. Segue-se, no terceiro capítulo, com a metodologia utilizada, bem como uma breve apresentação sobre os dados que foram usados. No quarto capítulo são analisados os resultados das simulações realizadas. Por fim, têm-se as considerações finais, onde estão dispostas as conclusões, sugestões para futuras pesquisas na área e limitações desta dissertação.

2 Energia, crescimento e emissões de CO₂

2.1 Teoria

Os investimentos nos setores energéticos podem ser vistos, de maneira geral, como apenas uma parte do investimento total em uma economia. Desta forma, estes investimentos podem ser associados a uma série de modelos econômicos que relacionam os investimentos com o crescimento econômico, seja esse crescimento de curto ou de longo prazo. Dentre os modelos de longo prazo, merecem destaque: o modelo de Solow (o mais canônico dentre os modelos de crescimento neoclássico), o de Ramsey-Cass-Koopman (também conhecido como modelo de gerações infinitas), o de Diamond (também chamado de modelo de gerações

⁴ Ver Análise dos resultados.

sobrepostas) e o de Romer (primeiro modelo da nova teoria do crescimento econômico). Onde, em todos eles, cabe aos investimentos em capital aumentar a acumulação de capital e, assim, propiciar um crescimento econômico de longo prazo (ROMER, 2006a, 2006b e 2006c).

No que tange os modelos de curto prazo, o investimento é visto apenas como um componente da demanda agregada. Neste caso, quando há um aumento dos investimentos (autônomos) a demanda agregada se eleva, de maneira mais do que proporcional, no curto prazo - quando algum nível de rigidez de preços é admitido. No longo prazo, quando a rigidez de preços deixa de existir, a oferta de curto prazo se ajusta, de tal forma, que suplanta o crescimento inicial. É o que preconizam os modelos de flutuações tradicionais dos keynesianos (ROMER, 2006d).

Outra forma de se pensar os investimentos em energia é considerá-los como parte constituinte de uma classe de investimentos mais específica, a saber: os investimentos em infra-estrutura. Tomados desta forma, os investimentos em energia, além de se relacionarem com o crescimento de longo prazo, são vistos como capazes de ajudar na redução da pobreza. Isto por que, o aumento dos investimentos em infra-estrutura melhoraria as condições de vida das famílias mais pobres, uma vez que elas passariam a contar, por exemplo, com serviços de energia mais eficientes e menos custosos (ESTACHE; FOSTER; WONDON, 2002). Por seu turno, o aumento na oferta desses serviços de energia contribui para aumentar a competitividade no mercado internacional, uma vez que propicia uma redução no custo de produção de quase todos os bens, o que garantia aquela economia uma vantagem comparativa em relação a seus concorrentes, especialmente nos bens intensivos em energia (OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2009).

De acordo com Battacharyya (1996) - um *survey* sobre o uso de MEGCs⁵ aplicados a energia - com o choque do petróleo em 1973 aumentou dramaticamente a formulação de modelos econômicos voltados para o setor energético. Sobretudo a formulação de modelos de equilíbrio geral computável, pela sua capacidade de desagregação setorial, de vital importância para estudos energéticos. Ainda em conformidade com Battacharyya (1996), a partir da década de 1980 os MEGCs energéticos começaram a focar as questões ambientais, de forma especial em como mecanismos de preços (impostos, subsídios e criação de mercados) afetavam o crescimento econômico, o bem-estar e as emissões de poluentes, em especial de dióxido de carbono.

⁵ Modelos de Equilíbrio Geral Computáveis.

Esses MEGCs ambientais são classificados por Tourinho, Motta e Alves (2003) em quatro categorias:

1. Coeficientes fixos: a poluição é estimada usando coeficientes de intensidade de emissões fixos, ou seja, a poluição é uma proporção fixa do produto setorial, calculada a partir do equilíbrio de referência⁶;
2. Coeficientes flexíveis: a intensidade das emissões depende da escolha tecnológica na produção, em especial dos insumos energéticos utilizados;
3. Poluição incorporada na função utilidade: o nível de emissões entra diretamente na composição da utilidade da família representativa;
4. Poluição incorporada na produtividade do trabalho: a produtividade do trabalho passa a ser função do nível de poluição, uma vez que esta afeta a saúde geral dos trabalhadores.

Outras classificações são possíveis. Por exemplo, as realizadas por Wing (2009) ou por Al-Amin, Jaafar e Siwar (2008). Todavia, apenas a de Tourinho, Motta e Alves (2003) foi considerada ao longo desse estudo, pois o que melhor delimitou os diferentes tipos de MEGCs ambientais.

Como mencionado acima, os modelos ambientais têm se dedicado de maneira especial aos efeitos de políticas que alteram diretamente o preço dos insumos energéticos, tais como impostos ou subsídios. Tal enfoque se deve, provavelmente, por conta da tradição ortodoxa em utilizar este tipo de mecanismo para corrigir as falhas de mercado, bem como por conta da própria natureza dos MEGCs, que alocam os recursos com base em preços relativos. Mas ainda que esses mecanismos sejam fáceis de serem desenhados, eles não estão livres de impedimentos ao seu uso (SANCHO, 2010). Tratando especificamente de impostos sobre insumos energéticos (ou impostos ambientais), Clinch e Dunne (2006), apontam os três mais importantes desses impedimentos: 1) o receio de que o governo não compense o imposto ambiental, através da redução de outros impostos; 2) a percepção coletiva de que um imposto ambiental teria que ser muito elevado; 3) percepções quanto à competitividade entre os setores. Esses três impedimentos, na realidade, podem ser vistos como desdobramentos de apenas um receio, qual seja: que um imposto ambiental resulte em perda de bem-estar.

Todavia, não apenas os impostos sobre insumos energéticos são capazes de gerar perdas de bem-estar, mas também os subsídios. Lin e Jiang (2010) argumentam que os

⁶ Para uma breve explicação sobre como construir esse equilíbrio de referência ver a seção Metodologia.

subsídios a produção desses insumos, quando mal direcionados (quando se concentram em estimular a produção de combustíveis fósseis) e mantidos inflexíveis, não apenas implicam em menor bem-estar, como também resultam em maiores emissões de poluentes e podem implicar em menor PIB. Inclusive, os subsídios a produção de insumos energéticos podem chegar a privilegiar mais as famílias ricas em relação às famílias pobres (GANGOPADHYAY; RAMASWAMI; WADHWA, 2005).

Outra maneira de contornar as possíveis perdas de bem-estar associadas ao uso de políticas de preço é incorporar, de maneira explícita, o progresso tecnológico na modelagem do setor energético. Não importa se esse progresso tecnológico é do tipo exógeno, provocado, por exemplo, por um aumento da produtividade do trabalho ou capital no setor em questão. Ou do tipo endógeno, devido a, por exemplo, o aumento da eficiência por conta de um processo de aprendizado. Ao fazer tal incorporação, permite-se que haja um aumento da eficiência energética o que, por sua vez, desvencilha, pelo menos parcialmente, o crescimento econômico do crescimento do consumo de insumos energéticos e, por conseguinte, do aumento da poluição (JACOBY et al., 2006).

Não obstante, o reconhecimento do progresso tecnológico não deve ser encarado como uma panaceia para o problema de se conciliar crescimento econômico com redução da poluição. Isto se deve ao fato da existência do *energy rebound*. Antes de expor esse conceito é preciso definir uma *engineering savings*: quantidade teórica de energia que poderia ser economizada após um aumento da eficiência energética, caso a quantidade de bens e serviços demandados fosse mantida fixa. Por seu turno, o *energy rebound* é o aumento adicional do consumo de energia propiciado pelo próprio aumento da eficiência. Sendo assim, se *energy rebound* for maior do que a *engineering saving*, o resultado é um aumento do consumo energético provocado pelo aumento da eficiência energética (MADLENER; ALCOTT, 2009).

Uma possibilidade que também se sobressai na literatura é a de combinação de políticas de preço com outros tipos de política. Neste contexto é possível, por exemplo, utilizar as receitas geradas por um imposto sobre as emissões de carbono para diversos fins: repassar como uma transferência *lump sum* para as famílias, ou financiar subsídios (ou investimentos) em subsectores energéticos “limpos”, dentre outros. O problema deste tipo de abordagem passa, além da própria escolha da combinação a ser utilizada, pela complexidade da implementação - não apenas teórica, mas, sobretudo empírica - associada a uma combinação julgada ideal (HANSON; LAITNER, 2004).

2.2 Evidências empíricas

Na subseção anterior, foi destacado que muitos dos estudos econômicos realizados para o setor energético, independente de eles possuírem uma preocupação ambiental ou não, utilizam como método o modelo de equilíbrio geral computável. Portanto, optou-se nesta parte da dissertação, por descrever os principais resultados obtidos por trabalhos que utilizaram a metodologia supracitada, dividindo os mesmos em três grupos: 1) estudos que envolvem políticas de preço; 2) estudos que combinam políticas de preço com outros tipos de política; 3) trabalhos que não envolvem uma política de preços.

Dentre os artigos que se encaixam no primeiro grupo, Tourinho, Motta e Alves (2003) merece destaque especial, por se tratar de uma aplicação deste tipo para o caso brasileiro. Neste artigo os autores analisam, a partir de um MEGC ambiental de coeficientes fixos, os impactos de três alíquotas de impostos sobre as quantidades de carbono emitidas por cada setor (US\$ 3,00, US\$ 10,00 e US\$ 20,00 por tonelada) sobre as variáveis macroeconômicas e sobre as emissões de CO₂. Concluem que, mesmo para a maior alíquota, houve pouca redução das emissões (1,36%), acompanhada de: redução ainda menor do PIB real (0,026%), aumento dos investimentos totais (5,7%), redução do déficit público (proporcionada por um aumento da arrecadação de 27,73%) e redução da renda das famílias (1,57%). Setorialmente destaca-se o aumento dos investimentos para setores pouco intensivos em emissões, enquanto ocorreu o contrário para os setores intensivos.

Também Al-Amin, Jaafar e Siwar (2008) encontram uma relação direta entre a redução de emissões de CO₂ e uma redução do PIB, devido a impostos sobre as emissões. Além de achar essa relação direta, Wissema e Dellink (2007) chamam atenção para a superioridade, em termos de custo (redução do PIB) e benefício (redução das emissões), de um imposto que foque nas emissões de CO₂, em relação a um imposto uniforme sobre o uso de energia. Sancho (2010), por seu turno, ao simular um imposto sobre o uso de energéticos e utilizar essa receita para reduzir outros impostos distorcivos, constata que é possível se chegar a um ganho duplo, qual seja: um aumento do PIB com redução das emissões.

Ferreira Filho e Rocha (2007), utilizando um MEGC multirregional, não apenas simulam a introdução de um imposto de R\$ 10,00 por tonelada de carbono, mas trazem também dois avanços importantes. Em primeiro lugar, as emissões foram calculadas com base no consumo de insumos energéticos e no nível de atividades que geram emissões, independentemente do uso de combustíveis, por exemplo, a agropecuária devido as emissões

de metano por parte do gado. Em segundo lugar, para tratar de maneira mais precisa a introdução da tecnologia *flexfuel* para a frota brasileira de veículos, permitiu-se que as famílias consumissem uma combinação entre álcool e gasolina⁷ a uma elasticidade de substituição constante (função CES⁸) entre álcool e gasolina, aumentando o realismo do modelo. Dentro desse contexto, o imposto ambiental, quando simulado somente sobre os combustíveis, e supondo uma elasticidade de substituição entre álcool e gasolina de 0,5, resultou em uma queda das emissões de 0,82%, associada a uma queda no PIB de 0,32%. Enquanto isso, para mesma elasticidade de substituição entre álcool e gasolina, mas com o imposto ambiental (com mesma alíquota) incidindo sobre os combustíveis e sobre o nível de atividades o resultado foi uma queda nas emissões de 4,96% ao custo de uma redução no PIB de apenas 0,39%; o que indica a necessidade de políticas ambientais considerarem o nível das atividades poluidoras como a agropecuária.

A introdução de um imposto ambiental pode ser feita de forma direta, tal como nos trabalhos descritos acima – com a alíquota definida exogenamente – ou de forma indireta, imprimindo-se uma redução exógena das emissões a qual determina, endogenamente, a alíquota do imposto ambiental. Este segundo procedimento foi utilizado em Feijó e Azevedo (2006) para analisar os efeitos, sobre a economia brasileira das restrições propostas pelo Protocolo de Quioto, utilizando o GTAP-E⁹. Nesse estudo, os autores associam às restrições do Protocolo de Quioto a consolidação da ALCA (Área de Livre Comércio das Américas) e conclui que a simples consolidação da ALCA (remoção de todas as tarifas de importação e exportação, em todos os países membros) acarretaria em uma variação equivalente para o Brasil de US\$ 1449,63 milhões; ao passo em que a consolidação da ALCA, acompanhada da adoção do Protocolo de Quioto – além da possibilidade de comércio de emissões entre todas as regiões do modelo - resultaria em uma variação equivalente para o Brasil de US\$ 677,76 milhões. Logo, uma ampla abertura comercial no Brasil seria capaz de suplantando os efeitos, sobre o bem-estar, de restrições nas emissões.

Wing (2009) simula uma redução das emissões de CO₂ para os Estados Unidos de 16% em relação aos níveis emitidos em 2005 (ano usado para construção do equilíbrio de referência) através de um imposto *ad-valorem* de US\$ 17,00 por tonelada de carbono, cuja receita é repassada diretamente para a família representativa. Com esse mecanismo, a redução

⁷ Por gasolina entenda-se gasoálcool, mistura de gasolina e álcool utilizada nos veículos automotores no Brasil. A proporção de etanol no gasoálcool considerada aqui foi de 20%, proporção que vigorou durante a maior parte do ano de 2006 (FOLHA ONLINE, 2006a e 2006b).

⁸ *Constant Elasticity of Substitution*.

⁹ Versão modificada do GTAP (*Global Trade Analysis Project*) desenvolvida para analisar assuntos relacionados ao uso de energia e de políticas que provoquem mudanças climáticas, em nível internacional.

do PIB encontrada é de apenas 0,14%, pequena em comparação a redução das emissões alcançada.

No que tange ao segundo grupo, três trabalhos chamaram a atenção: Ling e Jiang (2010), Hanson e Laitner (2004) e Otto, Löschel e Reilly (2008). O primeiro desses artigos, estudando os subsídios a produção de insumos energéticos na China, (amplamente concentrados nos setores de combustíveis fósseis) mostra que a eliminação desses subsídios, combinada com o uso dos recursos liberados para investimento em setores pouco intensivos em emissões, resulta em aumento do PIB e do bem-estar, enquanto reduz as emissões. Mais especificamente, supondo que 50% dos recursos liberados pela eliminação dos subsídios são direcionados para setores que poluem pouco, Lin e Jiang (2010) constataam um crescimento do PIB de 1,74%, do bem-estar de 1,52%, acompanhado de uma redução das emissões de - 4,73%.

Hanson e Laitner (2004), diferentemente dos artigos citados até então utilizaram um MEGC dinâmico¹⁰. Isto lhes permitiu analisar os efeitos de um sistema de permissões de carbono, cujas receitas eram usadas pelo governo para investir no desenvolvimento de novas tecnologias e no aumento da eficiência das já existentes – com vistas a reduzir o consumo de energia e a degradação ambiental. O saldo dessas operações era então repassado as famílias, assim como em Wing (2009). Os resultados desses mecanismos, calculados para os Estados Unidos em 2050, em relação aos resultados sem o uso dos mesmos foram: crescimento do PIB de 0,26%, aumento do consumo de 0,96%, redução do consumo de energia de 29% e redução das emissões de CO₂ de 42,36%.

Com vistas a analisar a eficiência, em termos de custo, de políticas ambientais na presença de externalidades tecnológicas, Otto, Löschel e Reilly (2008) utilizaram um MEGC dinâmico (inclusive com a família representativa maximizando a utilidade intertemporalmente) para simular restrições: quantitativas para emissões, subsídios à pesquisa e desenvolvimento e uma combinação das duas políticas; todas elas calibradas para resultarem em 10% de variação nas emissões de CO₂.

A grande peculiaridade do modelo de Otto, Löschel e Reilly (2008) é o uso, além do trabalho, capital, materiais e energia, do capital intelectual (que gera externalidades tecnológicas) como um fator produção. Considerando como referência o caso em que os subsídios corrigissem plenamente as externalidades – calculado para a economia holandesa entre 2005 e 2025 – uma política de restrições de emissões diferenciadas entre setores “sujos”

¹⁰ Para uma breve discriminação entre MEGCs estáticos e dinâmicos ver a Metodologia.

e “limpos” gerou uma variação do bem-estar descontado¹¹ de 28,63%; o uso de subsídios (também diferenciados) resultou em perda de bem-estar da ordem de 17,05%; e a combinação das duas políticas implicou redução de apenas 1,25% do bem-estar. Todavia, tendo como referência uma trajetória onde nenhuma política fora implementada, os três tipos de mecanismos, anteriormente mencionados, implicaram, respectivamente, nas seguintes variações do bem-estar descontado: 0,28%, 11,30% e 27,10%.

Por fim, dentre os artigos classificados no terceiro grupo, merecem destaque: Guilhoto, Lopes e Motta (2002), Barry (2009), Haddad *et al* (2010) e Chuanyi, Xiliang e Jiankun (2009).

Guilhoto, Lopes e Motta (2002) analisam, dentro de um MEGC dinâmico e multirregional, os efeitos sobre: as emissões de diversos poluentes, consumo de água e energia e desmatamento da Amazônia; de dois quadros de crescimento para o Brasil: pessimista (crescimento médio do PIB de 2,28% entre 2002 e 2012) e otimista (crescimento médio de 4,36%). Os principais resultados encontrados foram que: um aumento do crescimento do PIB proporciona, de forma geral, crescimento das emissões de poluentes, o consumo de água e energia e o desmatamento da Amazônia¹². Ou seja, as intensidades médias de poluição e consumo desses recursos foram menores para o cenário otimista do que para o pessimista, ou seja, o crescimento econômico mais acelerado contribui para a eficiência ambiental no Brasil.

Enquanto isso, Barry (2009) investiga quais os efeitos de um aumento de 10% dos investimentos estrangeiros no setor de gás natural¹³ dos países da Ásia Central (Cazaquistão, Turcomenistão e Uzbequistão). Os resultados mostram: um crescimento das exportações apenas para o setor de gás natural, enquanto as demais exportações se reduzem, o que pode ser um indicativo de “doença holandesa”; um aumento significativo da produção apenas no setor de gás natural; um aumento do bem-estar mundial de US\$ 350 milhões.

O estudo realizado por Haddad *et al* (2010) parece ainda não ter par no Brasil. Primeiramente, por conta da complexidade do modelo utilizado – cujo o núcleo é um MEGC dinâmico com 55 setores e 558 microrregiões, alimentado por outros MEGCs mais agregados, que fornecem dados como a evolução da inflação e mudanças na matriz energética brasileira, dentre outras informações. Segundo, pela própria natureza das simulações, que, ao invés de

¹¹ Os autores não especificam no artigo qual a medida de bem-estar utilizada nem como foi realizado seu desconto

¹² Para um estudo focado nos recursos florestais do Brasil recomenda-se Barnejee e Alavalapati (2009).

¹³ Para um estudo sobre a importância do gás natural na matriz energética brasileira ver Carneiro, Figueiredo e Araújo Júnior (2009).

focarem em cenários para a evolução dos investimentos ou do PIB, focam nos impactos econômicos de mudanças climáticas globais. Essas simulações apontaram que a perda do PIB real em relação a cenários sem mudanças climáticas seria de até 2,3% em 2050, enquanto a redução no consumo real poderia ser de até 3,4%. Além disso, as mudanças climáticas reforçariam as desigualdades regionais, afetando, principalmente, às regiões mais pobres do País.

Finalmente, Chuanyi, Xiliang e Jiankun (2009), utilizando um MEGC multirregional estático, calcularam os efeitos de um aumento dos investimentos no setor energético da província de Shaanxi (escolhida como *proxy* para a região oeste da China) sobre o PIB, as emissões de CO₂ e a estrutura industrial da China. Para um aumento desses investimentos da ordem de 60%, os resultados foram: um crescimento do PIB de 8,92%, aumento das emissões em 11,10% e um aumento relativo da produção, exportações e importações para os setores energéticos (carvão, eletricidade e petróleo e gás).

Dado tudo que foi exposto até então, os investimentos na produção de energéticos, além de gerarem um crescimento econômico - seja ele de curto ou de longo prazo, dependendo da modelagem utilizada – podem ser direcionados para subsectores energéticos menos poluentes, por exemplo, para a produção de energia elétrica e de álcool, em detrimento da produção de combustíveis fósseis. Esse redirecionamento pode não ser capaz de reduzir as emissões de CO₂, mas pelo menos deve minimizar esse tipo de efeito colateral (CHUANYI; XILIAN; JIANKUN, 2009). Enquanto isso, um imposto sobre as emissões de CO₂ ao passo em que deve gerar uma redução das mesmas, deve resultar também em decréscimo do PIB (WISSEMA; DELLINK, 2007) . Sendo assim, a combinação de um imposto ambiental com um aumento dos investimentos na produção de produtos energéticos pouco poluentes, aparece como uma alternativa que pode implicar, ao mesmo tempo, em crescimento econômico e redução das emissões de dióxido de carbono.

3 Metodologia da pesquisa

A metodologia utilizada foi de natureza fundamentalmente positivista, de modo que, não são foram recomendações normativas a partir dos resultados encontrados. Além disso, os objetivos da pesquisa, conforme explicitados acima, implicam em resultados do tipo quantitativo, de forma que, a metodologia deveria permitir a obtenção deste tipo especial de

resultado. Dentro do arcabouço das Ciências Econômicas, duas grandes metodologias quantitativas se apresentavam: a econometria e o MEGC.

Do ponto de vista metodológico, a econometria pode ser vista como sendo do tipo *ex post*. Isto significa que para o caso dessa pesquisa, teria que se coletar uma extensa série temporal com dados para os investimentos na produção de insumos energéticos, emissões de CO₂, além de outras importantes variáveis macroeconômicas e todas as variáveis que influenciassem aqueles investimentos. Somente assim, e com o uso de um processo qualquer de regressão, seria possível traçar relações de causalidade entre os investimentos no setor energético (como variável independente) e as emissões de CO₂ e o PIB, por exemplo.

A dificuldade do método econométrico reside justamente na quantidade de dados necessários a sua aplicação, sobretudo na quantidade de variáveis. A dependência dessa quantidade fora do comum de informações reside no fato de que seria preciso controlar os investimentos nos setores energéticos, para todas as variáveis que pudessem ter afetado o seu desempenho. Pois, apenas assim o coeficiente associado aqueles investimentos não refletiria o impacto de uma série de outras variáveis, não contidas na regressão.

Um MEGC é um modelo matemático, representado por um conjunto de equações, em sua maioria, não lineares, que descrevem como os bens são produzidos e alocados entre os diferentes componentes de demanda a partir de um sistema de preços relativos (OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2009).

Esta classe de modelos tem sua gênese na teoria do equilíbrio geral de Walras. De acordo com essa teoria, existiria um vetor de preços para o qual não haveria excesso de demanda positivo para nenhum produto, levando em conta que existem produtos desejados e outros indesejados. No caso de todos os produtos serem desejados, o vetor de preços de equilíbrio geral implicaria na igualdade entre oferta e demanda em todos os mercados (VARIAN, 1992a).

Um MEGC realiza análises *ex ante* ou contra factuais. Com ele é possível simular cenários sem que estes tenham, de fato, acontecido, a partir de dados para um ano de referência. Não há, portanto, a necessidade de controlar a variável que será vítima do choque para todas as outras variáveis que a afetam na realidade empírica. Outra vantagem do MEGC é que ele é capaz de levar em consideração outras particularidades estruturais da economia, que não estão ligadas diretamente, a variável que sofre o choque, como por exemplo: o grau de abertura comercial daquela economia e a distribuição da renda entre os fatores de produção (ARAÚJO JÚNIOR, 2006). Assim sendo, o MEGC, neste caso, é mais parcimonioso e

preciso que um modelo econométrico, além de ser capaz de suportar grandes níveis de desagregação.

Os MEGCs se subdividem em duas grandes classes: 1) estáticos, que não levam em conta a passagem do tempo; 2) dinâmicos, que consideram o tempo. Por conseguinte, os modelos estáticos não são capazes, por exemplo, de incorporar os resultados de uma expansão dos investimentos na produção de energéticos, sobre a acumulação de capital e o crescimento econômico.

Por sua vez, os MEGCs dinâmicos se subdividem em mais duas categorias, os modelos verdadeiramente dinâmicos, ou intertemporais, e os modelos sequenciais, também chamados de recursivos. Os modelos intertemporais são baseados na teoria do crescimento ótimo onde os agentes econômicos são capazes de prever, com perfeição, o futuro. Desta forma, consumidores maximizam suas utilidades intertemporais, sujeitas a restrições sobre as suas riquezas, para determinarem suas decisões de consumo ao longo do tempo; ao passo em que as firmas decidem: suas demandas por fatores, com vistas à maximização de lucros; e o quanto devem investir, com base na maximização, ao longo de todo o horizonte temporal, do seu fluxo de caixa (ANNABI; COCKBURN; DECALUWÉ, 2004).

Quanto aos modelos seqüenciais, eles são caracterizados por agentes com comportamento míope, de maneira que, o modelo dinâmico é, tão somente, uma série de modelos estáticos, ligados entre si por processos de atualização endógenos (para variáveis endógenas) e exógenos (para variáveis exógenas) (ANNABI; COCKBURN; DECALUWÉ, 2004).

Não renegando a importância da teoria do crescimento ótimo, o estudo da mesma está fora do escopo dessa pesquisa. Portanto, pelo fato de um modelo dinâmico sequencial ser capaz de dar conta dos objetivos desse estudo, foi ele o utilizado; descrito em detalhes na subseção abaixo.

3.1 Equações do modelo

Na sua maioria, as equações do modelo foram adaptadas de Robinson *et al.* (1999) e são divididas em dez blocos: preço, produção, renda e poupança, demanda, comércio exterior, equilíbrio, ambiental, bem estar, acumulação de capital e atualização das variáveis exógenas. Todas as equações seguem uma convenção, qual seja: a de que as variáveis endógenas são expressas em letras maiúsculas; enquanto as exógenas e os parâmetros são grafados em letras

minúsculas. O Apêndice A traz uma lista com todas as variáveis do modelo. Por se tratar de um modelo dinâmico sequencial, todas as variáveis, sejam elas endógenas ou exógenas estão indexadas no tempo; somente os parâmetros foram considerados constantes. A rigor, todas as variáveis se tornam endógenas a partir do segundo período. Sendo assim, a classificação entre variáveis endógenas e exógenas adotada aqui é com base no equilíbrio de inicial do modelo.

Chama-se atenção, para o fato de que quase todos os parâmetros foram calibrados, ou seja, seus valores foram calculados com base nos dados calculados para o estudo. As únicas exceções foram as elasticidades de substituição e de transformação, presentes no módulo de produção e comércio exterior.

Para a composição do modelo foi suposto que existem apenas quatro agentes: resto do mundo (ROW¹⁴), família representativa (HH¹⁵), empresa representativa e governo (G). A hipótese do agente representativo para a família e para a empresa, apesar de ser amplamente usadas em aplicações do tipo que foi feita neste trabalho, é uma suposição das mais fortes dentro do contexto da teoria microeconômica, pois significa dizer que todas as pessoas na economia brasileira têm a mesma estrutura de preferências a qual pode ser representada por uma única função de utilidade, o que está longe de ser um fato empírico. Além disso, essa suposição fez com que se deixassem de lado aspectos interessantes relacionados às emissões de CO₂, como, por exemplo, a estrutura dessas emissões considerando-se grupos de famílias com rendas diferentes. Porém, pelo fato de que os objetivos desta dissertação não requerem diferenciação entre esses agentes, a hipótese de agente representativo foi usada como forma de simplificar a obtenção desses objetivos, mas todos os resultados aqui apresentados devem ser considerados levando essa forte simplificação.

Uma vez que os objetivos se referem às emissões nacionais de dióxido de carbono e a variáveis macroeconômicas, não foi feita uma divisão inter-regional. Quanto às relações comerciais do resto do mundo com o Brasil, estas são governadas pela hipótese de economia aberta e pequena, ou seja, nem as importações nem as exportações brasileiras, são capazes de afetar os preços internacionais dos bens comercializados com o ROW (ROBINSON et al., 2006).

3.1.1 Preços

¹⁴ *Rest of the World.*

¹⁵ *Household.*

O primeiro bloco de equações é o de preços e reúne as equações entre (1) e (7). As expressões (1) e (2) descrevem, respectivamente, os preços dos bens importados ($P_{i,t}^M$) e exportados ($P_{i,t}^E$). Para os primeiros supõe-se que existam impostos e para as exportações subsídios, que são acrescentados ou abatidos dos preços internacionais dos bens importados e exportados ($pwm_{i,t}$ e $pwe_{i,t}$).

A expressão (3) traz o preço dos produtos ($P_{i,t}$), que é uma combinação entre o valor da demanda por produtos domésticos ($P_{i,t}^D * D_{i,t}$) e o valor das exportações ($P_{i,t}^E * EX_{i,t}$), mas para achar o preço que vigora, no momento em que o produto sai da fábrica, tem-se ainda que multiplicar $P_{i,t}$ pelas alíquotas dos impostos indiretos (tx_i), margens de transporte (tt_i) e comércio (tc_i).

No que tange ao preço do valor adicionado ($P_{i,t}^{va}$), ele é definido em (4) como o valor da produção total ($P_{i,t}X_{i,t}^S$) menos o valor do consumo intermediário, tudo isso dividido pelo volume do valor adicionado ($VA_{i,t}$). Enquanto que o preço ao consumidor (equação (5)) é uma combinação entre o valor da demanda doméstica e das importações, dividida pela demanda total do bem composto por essas duas categorias de demanda ($Q_{i,t}$).

Em penúltimo lugar, temos o preço do capital, dado na equação (6), como sendo a diferença entre o valor do valor adicionado ($P_{i,t}^{va}VA_{i,t}$) e o valor da demanda por trabalho ($W_tL_{i,t}^D$), dividida pelo volume de capital utilizado ($K_{i,t}$).

Por último, na expressão (7), define-se o índice de preço ($PINDEX_t$) como o somatório, para todos os setores, do valor da participação de cada produto na produção total ($\beta_i^X P_{i,t}$). Este índice de preço será usado como o numerário do modelo, de modo que, todas as transferências realizadas localmente serão multiplicadas por ele. Para as transferências realizadas com o exterior a indexação é feita através da taxa de câmbio. Isso irá garantir que o modelo seja homogêneo de grau zero nos preços, ou seja, que em caso de todos os preços serem multiplicados por uma constante, as quantidades de equilíbrio não se alterarão, uma vez que os preços relativos permanecerão os mesmos.

Ressalta-se que para o equilíbrio de referência todos os preços sobre os quais não incidem impostos, com exceção do preço do capital¹⁶, são normalizados para unidade o que: 1) permite analisar mais facilmente as mudanças nos preços relativos; 2) possibilita o uso dos dados contidos em uma Matriz de Contabilidade Social (MCS) para calcular os coeficientes

¹⁶ O motivo pelo qual o preço do capital não é normalizado para a unidade está exposta na subseção 3.1.9 (Acumulação de capital).

de participação de funções dos tipos CES e CET¹⁷ (WING, 2009); e 3) torna possível usar os dados sobre remuneração dos trabalhadores, presentes na MCS, como equivalentes da demanda por trabalho de cada setor.

$$P_{i,t}^M = (1 + tm_i) * E_t * pwm_{i,t} \quad (1)$$

$$P_i^E = \frac{E_t * pwe_{i,t}}{(1 + te_i)} \quad (2)$$

$$P_{i,t}(1 + tx_i + tt_i + tc_i) = \frac{P_{i,t}^D * D_{i,t} + P_{i,t}^E * EX_{i,t}}{X_{i,t}^S} \quad (3)$$

$$P_{i,t}^{va} = \frac{P_{i,t} X_{i,t}^S - \sum_j P_{i,t}^C CIJ_{j,t}}{VA_{i,t}} \quad (4)$$

$$P_{i,t}^C = \frac{P_{i,t}^{va} * D_{i,t} + P_{i,t}^M * M_{i,t}}{Q_{i,t}} \quad (5)$$

$$R_{i,t} = \frac{P_{i,t}^{va} VA_{i,t} - W_t L_{i,t}^D}{K_{i,t}} \quad (6)$$

$$PINDEX_t = \sum_i (\beta_i^X P_{i,t}) \quad (7)$$

3.1.2 Produção

As equações de (8) a (12) formam o bloco de produção. A equação (8) implica que o valor adicionado ($VA_{i,t}$) pelas firmas é suposto uma combinação do tipo CES entre os dois fatores de produção básicos, trabalho e capital, o que por sua vez implica em retornos constantes de escala.

Aqui cabe uma ressalva. Para encontrar a elasticidade de substituição entre trabalho e capital (σ_i^x), que permite o cálculo do parâmetro de substituição¹⁸ (ρ_i^x) precisar-se-ia recorrer a procedimentos econométricos, que por se si sós seriam complexos, desta feita, ao invés de estimá-los, na medida em que são impossíveis de serem calibrados, seus valores foram adaptados de Souza (2010). Para os setores que não constavam estimações naquele artigo, os valores de σ_i^x foram supostos iguais a 1,2, valor que não tem base em nenhum outro estudo, mas refletiu a intenção de que as funções de produções fossem mais elásticas do que uma simples Cobb-Douglas, a qual pode ser deduzida de uma CES quando σ_i^x tende a unidade.

¹⁷ *Constant Elasticity of Transformation.*

¹⁸ Em uma equação do tipo CES tem-se que $\rho_i = \frac{1 - \sigma_i}{\sigma_i}$ (VARIAN, 1992).

A equação (9) descreve o consumo de bens intermediários de cada setor “i” do produto do setor “j” (CI_{ij}) como sendo o produto entre um coeficiente de insumo-produto¹⁹ (α_{ij}) e o consumo intermediário do setor “j”. Quanto à expressão (10) ela pressupõe que a produção é uma combinação do tipo Leontief²⁰ entre o valor adicionado e o consumo intermediário ($X_{i,t}^S = \text{Min} \{ \frac{VA_{i,t}}{v_i}, \frac{CI_{ij,t}}{v_i} \}$), de forma que, qualquer valor de consumo intermediário que exceda $\frac{VA_{i,t}}{v_i}$ não implica em maior produção, permitindo expressar $X_{i,t}^S$ conforme (10).

A equação (11) também se refere ao consumo intermediário, mas ao consumo intermediário total do setor “i” ($CI_{i,t}$), dado pelo produto entre uma proporção do seu consumo intermediário na sua produção total ($i0_i$) e a produção total do setor.

A última equação desse bloco, equação (12), define a demanda por trabalho ($L_{i,t}^D$) conforme o problema de maximização dos lucros, que pressupõe uma produção CES, como já fora mencionado. Portanto, $L_{i,t}^D$ é função não apenas do salário, mas também do preço do capital, do valor adicionado ($P_{i,t}^{va} VA_{i,t}$) e dos parâmetros da função de produção.

$$VA_{i,t} = a_i [\psi_i^x L_{i,t}^{-\rho_i^x} + (1 - \psi_i^x) K_{i,t}^{-\rho_i^x}]^{-\frac{1}{\rho_i^x}} \quad (8)$$

$$CI_{ij,t} = \alpha_{ij} CI_{j,t} \quad (9)$$

$$X_{i,t}^S = \frac{VA_{i,t}^S}{v_i} \quad (10)$$

$$CI_{i,t} = X_{i,t}^S i0_i \quad (11)$$

$$L_{i,t}^D = \frac{P_{i,t}^{va} VA_{i,t}}{W_t + \left(R_{i,t} * \left(\left(\frac{R_{i,t}}{W_t} \right) * \left(\frac{\delta_i^x}{(1 - \delta_i^x)} \right) \right)^{\frac{-1}{\rho_i^x + 1}} \right)} \quad (12)$$

O funcionamento da produção pode ser mais bem compreendido com a ajuda da Figura 1 abaixo. Nela os fatores de produção capital e trabalho são agregados, através de uma CES, para compor o valor adicionado, o qual é agregado com insumo intermediário composto para formar o produto, por seu turno, o insumo intermediário composto é formado por insumos intermediários domésticos e importados agregados através de uma CES, em conformidade com a suposição de Armington. Desta feita, a produção no modelo se dá em

¹⁹ A nomenclatura “coeficiente de insumo-produto” refere-se ao Modelo de Insumo-Produto de Leontief. Para uma exposição detalhada desse modelo ver Miller e Blair (1985).

²⁰ Para um estudo sobre qual a melhor forma funcional, considerando a energia como um fator de produção primário, recomenda-se Werf (2008).

dois níveis, no nível superior valor adicionado e insumos intermediários formam o produto composto e no nível inferior os fatores de produção e insumos intermediários domésticos e importados formam, respectivamente, o valor adicionado e o insumo intermediário composto.

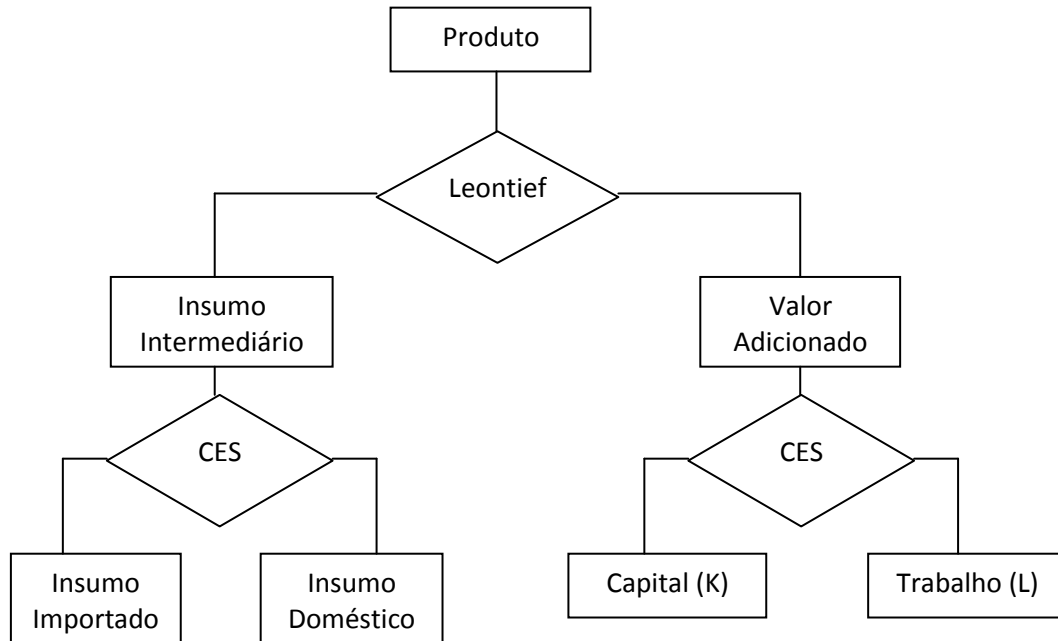


Figura 1 – Estrutura do processo produtivo do modelo.
Fonte: Ferreira Filho e Rocha (2007)

3.1.3 Renda e poupança

O bloco de renda e poupança compreende as equações de (13) a (27). A renda total da família é calculada como o total da renda com o trabalho: salário (W_t) multiplicado pela demanda total por trabalho ($\sum_i L_{i,t}^D$). Somam-se a isso os dividendos (DIV_t), as receitas da família com capital (RMK_t) e as transferências para a família: do governo (tgm_t), do resto do mundo (trm_t) e transferências do resto do mundo para o fator trabalho (trl_t); menos as transferências do trabalho para o resto do mundo (tlr_t). Todas essas transferências são multiplicadas seja pelo índice geral de preços ($PINDEX_t$), seja pela taxa nominal de câmbio (E_t). Por sua vez, a renda disponível da família é, de acordo com (14), sua renda total menos o imposto de renda (ty). Enquanto que a poupança (equação (15)) é a renda disponível multiplicada pela propensão média a poupar (pms).

No que diz respeito à renda e a poupança da empresa, estas são descritas pelas equações (16) a (19). Em (16) tem-se o total das receitas da empresa com o fator capital, dado pelo total das receitas desse fator ($\sum_i R_{i,t} K_{i,t}$) menos as receitas com capital remetidas à

família (RMK_t). A expressão (18), por sua vez, soma a essas receitas com o capital, transferências feitas pelo resto do mundo à empresa (tme_t), para definir a renda total da empresa ($Y_{E,t}$). Isso permite calcular a poupança da empresa, pela expressão (19), como sendo suas receitas totais menos: os gastos com dividendos (definidos por (20) como uma parcela, tdv , das receitas com capital), impostos sobre a renda do capital ($tk * RE_t$) e transferências feitas pela empresa para o resto do mundo (ter_t).

A receita do governo, expressão (21), é dada pelas receitas totais com impostos, inclusive impostos indiretos ($TXS_{i,t}$), de importação ($TXM_{i,t}$) e de exportação ($TXE_{i,t}$), além das transferências que recebe do resto do mundo (trg). Por seus turnos, $TXS_{i,t}$, $TXM_{i,t}$ e $TXE_{i,t}$ são definidos pelas equações (22) a (24), enquanto que a poupança do governo (S_G) é dada por suas receitas totais, subtraídas de seus gastos com consumo ($CT_{G,t}$) e das transferências que faz para: a empresa (tge_t), família (tgm_t) e resto do mundo (tgr_t).

Ainda no bloco de renda e poupança, as equações (26) e (27) não constam em Robinson *et al.* (1999). Elas calculam, respectivamente, as margens de transporte ($TXT_{i,t}$) e comércio ($TXC_{i,t}$), que pelo próprio formato das equações, fica evidente que serão tratadas como impostos, mas que podem ser pensadas como custos de transporte e transação. Essas equações referem-se a peculiaridades na forma como os dados para economia brasileira são organizados pelos órgãos estatísticos nacionais, que além de considerarem comércio e transporte como setores produtivos, consideram também que a cada produto, independentemente do setor que o produz, é acrescentado uma margem de comercialização e uma margem de transporte, tal como acontece para os impostos indiretos.

$$Y_{M,t} = W_t * \sum_i L_{i,t}^D + DIV_t + RMK_t + E_t * trm_t + PINDEX_t(tgm_t + trl_t - tlr_t) \quad (13)$$

$$YD_{M,t} = (1 - ty) * Y_{M,t} \quad (14)$$

$$S_{M,t} = YD_{M,t} * pms \quad (15)$$

$$RE_t = \sum_i R_{i,t} K_{i,t} - RMK_t \quad (16)$$

$$RMK_t = \lambda * \sum_i R_{i,t} K_{i,t} \quad (17)$$

$$Y_{E,t} = RE_t + PINDEX_t * tme_t \quad (18)$$

$$S_{E,t} = Y_{E,t} - DIV_t - tk * RE_t - ter_t \quad (19)$$

$$DIV_t = tdv * RE_t \quad (20)$$

$$Y_{G,t} = ty * Y_{M,t} + tk * RE_t + \sum_i TXS_{i,t} + \sum_i TXM_{i,t} + \sum_i TXE_{i,t} + E_t * trg_t \quad (21)$$

$$TXS_{i,t} = tx_i * P_{i,t} * X_{i,t}^S \quad (22)$$

$$TXM_{i,t} = tm_i * E_t * pwm_{i,t} * M_{i,t} \quad (23)$$

$$TXE_{i,t} = te_i * E_t * pwe_{i,t} * E_{i,t} \quad (24)$$

$$S_{G,t} = Y_{G,t} - PINDEX_t (CT_{G,t} + tge_t + tgm_t) - E_t * tgr_t \quad (25)$$

$$TXT_{i,t} = tt_i * P_{i,t} * X_{i,t}^S \quad (26)$$

$$TXC_{i,t} = tc_i * P_{i,t} * X_{i,t}^S \quad (27)$$

3.1.4 Demanda

Formam o bloco de demanda as equações de (28) a (32). Dentre essas, as duas primeiras tratam do consumo da família, (28) do consumo total da família – calculado de forma residual – e (29) do consumo setorial da família – calculado como sendo uma proporção fixa (β_i^C) do consumo total sobre o preço ao consumidor de cada produto. Chama-se a atenção para o fato de que a equação (29) resulta da suposição de uma função de utilidade Cobb-Douglas.

O consumo setorial do governo é calculado em (30), da mesma forma que o da família, o mesmo acontecendo com o investimento setorial em (31). Enquanto isso, a demanda intermediária ($DI_{i,t}$) em (32) é um somatório, na coluna, do produto de um coeficiente de insumo-produto pelo consumo intermediário total.

$$CT_{M,t} = YD_{M,t} - S_{M,t} - PINDEX_t * tme_t \quad (28)$$

$$CM_{i,t} = \frac{\beta_i^C CT_{M,t}}{P_{i,t}^C} \quad (29)$$

$$CG_{i,t} = \frac{\beta_i^G * PINDEX_t * CT_{G,t}}{P_{i,t}^C} \quad (30)$$

$$INV_{i,t} = \frac{\beta_i^{IT} IT_t}{P_{i,t}^C} \quad (31)$$

$$DI_{i,t} = \sum_j \alpha_{ij} CI_{j,t} \quad (32)$$

3.1.5 Comércio exterior

As equações compreendidas entre (33) e (37) dizem respeito às relações de comércio exterior. Em (32) tem-se que a produção (ou oferta) total pode ser usada tanto para atender as demandas por exportações ($EX_{i,t}$) - em uma proporção (ψ_i^T) - quanto para satisfazer a

demanda doméstica ($D_{i,t}$) - em uma proporção $(1 - \psi_i^T)$. Esta decisão, entre o que é exportado e o que é vendido localmente, segue uma função com elasticidade de transformação constante (CET). Por seu turno, a elasticidade de transformação (σ_i^T) deve ser tal, que maximize a receita com exportações e vendas domésticas (CHUANYI; XILIAN; JIANKUN, 2009). A proporção entre exportações e vendas domésticas é então dada por (34) e depende, além de σ_i^T , dos preços: do bem exportado ($P_{i,t}^E$) e dos bens vendidos localmente ($P_{i,t}^D$).

Na sequência, a equação (34) atesta que a oferta total (Q) é uma combinação entre a demanda doméstica e as importações, através de uma função CES, ou seja, deve satisfazer a chamada suposição de Armington de substitutibilidade imperfeita entre bens produzidos localmente e importados (ARMINGTON, 1969). A proporção entre o que é importado e o que é demandado localmente em (36) vai depender de: σ_i^S , de $P_{i,t}^M$ e de $P_{i,t}^D$.

Os valores de σ_i^S e σ_i^T foram adaptados, respectivamente, das estimações de Tourinho, Kume e Pedroso (2007) e de Oliveira e Teixeira (2009).

Como última equação do bloco de comércio exterior, temos a balança corrente (BC_t), dada pela soma das importações com as transferências feitas ao resto do mundo, menos as exportações e transferências recebidas do resto do mundo.

$$X_{i,t}^S = b_i^T [\psi_i^T EX_{i,t}^{\rho_i^T} + (1 - \psi_i^T) D_{i,t}^{\rho_i^T}]^{\frac{1}{\rho_i^T}} \quad (33)$$

$$\frac{EX_{i,t}}{D_{i,t}} = [P_{i,t}^E \psi_i^T / P_{i,t}^D * (1 - \psi_i^T)]^{\sigma_i^T} \quad (34)$$

$$Q_{i,t} = b_i^S [\psi_i^S M_{i,t}^{-\rho_i^S} + (1 - \psi_i^S) D_{i,t}^{-\rho_i^S}]^{\frac{-1}{\rho_i^S}} \quad (35)$$

$$\frac{M_{i,t}}{D_{i,t}} = [P_{i,t}^D \psi_i^S / P_{i,t}^M * (1 - \psi_i^S)]^{\sigma_i^S} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} e_t * BC_t = & \sum_i (e_t * pwm_{i,t} * M_{i,t}) + e_t (ter_t + tgr_t + tlr_t - trm_t - trl_t) \\ & - \sum_i (e_t * pwe_{i,t} * EX_{i,t}) - trm_t \end{aligned} \quad (37)$$

3.1.6 Equilíbrio

O bloco de equilíbrio é formado por apenas três equações. A equação (38) fornece o equilíbrio entre o investimento total (IT_t) e a poupança total, dada pela soma da poupança da

família, do governo, da empresa e externa. O equilíbrio no mercado de bens é definido por (39) como a igualdade entre a oferta total, pelo bem composto, e a demanda total, soma: do consumo da família, do consumo do governo, da demanda intermediária e da demanda por investimentos ($INV_{i,t}$). Por fim, tem-se o equilíbrio no mercado de trabalho, em que oferta total é igual à soma das demandas setoriais, ou seja, o modelo supõe o pleno emprego do trabalho, o que, além de não ser uma hipótese condizente com o contexto brasileiro, impossibilitou analisar como os choques nos investimentos e a introdução de imposto ambiental afetariam o desemprego, ao passo em que todo o reajuste recaiu sobre o salário nominal perfeitamente flexível.

$$IT_t = S_{M,t} + S_{G,t} + S_{E,t} + E_t * BC_t \quad (38)$$

$$Q_{i,t} = CM_{i,t} + CG_{i,t} + DI_{i,t} + INV_{i,t} \quad (39)$$

$$L_t^S = \sum_i L_{i,t}^D \quad (40)$$

3.1.7 Ambiental

O bloco ambiental corresponde às expressões (41) e (42), ambas adaptadas de Wing (2009). A equação (41) mostra que a emissão de CO_2 de cada setor energético, explicitamente considerado, é dada pela multiplicação da soma da demanda intermediária, do consumo das famílias, do consumo do governo e da demanda por investimentos dos mesmos por um coeficiente de emissão respectivo (γ_{en}). Para obter as emissões totais, então, basta somar as emissões setoriais, é o que faz a equação (42).

$$CO_{2,en,t} = (DI_{en,t} + CM_{en,t} + CG_{en,t} + INV_{en,t}) * \gamma_{en} \quad (41)$$

$$CO_{2,t} = \sum_{en} CO_{2,en,t} \quad (42)$$

Sendo assim, os efeitos de um aumento dos investimentos nos setores energéticos sobre as emissões serão calculados por meio de seus efeitos sobre o consumo de seus produtos, em outras palavras, o MEGC ambiental proposto é do tipo de coeficientes fixos.

A opção por um modelo ambiental apenas de coeficientes fixos se deveu pela simplicidade com que é capaz de inferir o montante de emissões em uma economia. Por outro lado, esta escolha tornou o modelo incapaz de medir como essas emissões afetam a economia e como mudanças nas escolhas tecnológicas podem afetar as emissões.

3.1.8 Bem-estar

A equação, (43), foi adaptada de Oliveira e Teixeira (2009) e define a variação equivalente (VE_t) como o quociente da diferença entre a utilidade depois da implementação do choque (U_t^{choque}) e a utilidade na ausência do choque (U_t^{BAU}), pela utilidade sem o choque, tudo isso multiplicado pela renda dos consumidores, quando não existem choques (YM_t^{BAU}), de forma que, para BAU a variação equivalente é igual a zero para todos os períodos. Teoricamente, a VE é definida como a variação da renda que seria equivalente, em termos de bem-estar, a mudança nos preços relativos. Logo, valores positivos de VE indicam que a mudança nos preços relativos, fruto do choque simulado, melhorou a situação da família representativa. Portanto, a VE será a medida de bem-estar no modelo.

No presente caso, foi possível utilizar a variação equivalente como medida de bem-estar, pois o modelo é do tipo sequencial. No caso de modelos verdadeiramente dinâmicos, outra medida teria que ser considerada, para levar em conta as decisões de consumo tomadas intertemporalmente (SHOVEN; WHALLEY, 1992). Outras formas muito comuns de se avaliar o bem-estar são: a variação compensatória e as funções de utilidade indireta do tipo *money metric* (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995).

$$VE_t = \frac{U_t^{choque} - U_t^{BAU}}{U_t^{BAU}} YM_t^{BAU} \quad (43)$$

3.1.9 Acumulação de capital

Um aspecto fundamental que diferencia um MEGC estático de um dinâmico (intertemporal ou sequencial) é a presença de um bloco que trata, especificamente, da acumulação de capital. Existe mais de uma maneira de se introduzir essa acumulação num contexto de um MEGC sequencial, mas nesta dissertação seguiu-se de perto a formulação proposta por Abbink, Braber e Cohen (1995).

Em cada período o estoque de capital setorial é atualizado, conforme a expressão (44), considerando-se uma taxa de depreciação (δ_i) e investimentos destinados aquele setor em específico ($ID_{i,t}$). Cabe notar, que enquanto $INV_{i,t}$ é um componente de demanda (investimento pela origem), $ID_{i,t}$ é um componente de oferta (investimento pelo destino); o primeiro corresponde a quanto foi gasto com aquele setor na compra de bens de capital e

variação de estoque, enquanto o segundo diz respeito a quanto de investimento foi destinado para a acumulação de capital de cada setor. Por seu turno, $ID_{i,t}$ é uma fração $\Theta_{i,t}$ do investimento total corrigida pelo numerário e por um índice de preços para os bens de investimento (PK_t , definido em (50) e (51)). A fração $\Theta_{i,t}$, de acordo com a expressão (46), é função da participação do valor do estoque de capital setorial em relação a seu valor total ($\theta_{i,0}$, definida por (47)) e da razão entre a taxa de lucro setorial ($PR_{i,t}$, definida em (48)) e a taxa de lucro média da economia (APR_t , descrita em (49)).

Assim sendo, os investimentos pelo destino são guiados no modelo, essencialmente, pelos diferenciais entre as taxas de lucro de cada setor em relação à taxa de lucro médio. Um setor que apresente uma taxa de lucro acima da média em um período receberá maior parcela dos investimentos totais naquele período. Contudo, uma vez que seu estoque de capital e, por conseguinte, sua produção terá crescido mais rapidamente que a dos demais setores, o preço relativo de seu produto apresentará um declínio, resultando em redução da taxa de lucro. Em resumo, taxas de lucro acima, ou abaixo da média, tendem a voltar para o patamar médio inicial (ABBINK; BRABER; COHEN, 1995).

Outro ponto que merece destaque, é que δ_i pode ser calibrada, ou suposta exogenamente. No caso de se optar pela calibração, ela deve ser feita de acordo com a equação $\delta_i = \frac{\theta_{i,0} * IT_0}{K_{i,0}} - g$, a qual implica que a relação entre o estoque de capital e o investimento total, usada pelo modelo, é a mesma encontrada na MCS entre o Excedente Operacional Bruto (EOB) e aquele investimento²¹.

Alternativamente, optou-se aqui por definir um valor exógeno para δ_i , de 5% ao ano, o que, conjuntamente com um valor para g de 2%, resultou em um estoque de capital cerca de catorze vezes maior que o investimento total, posto que, $KT_t * (\delta + g) = IT_t$ no estado estacionário²². A razão para a escolha de uma taxa de depreciação exógena se deu por motivos de realismo, haja vista que, para estar de acordo com os dados apresentados na MCS 2006, o valor de δ_i deveria ser de, aproximadamente, 36%, um valor muito superior ao que é geralmente encontrado na literatura, 5%, ou seja, o capital total representaria apenas cerca de duas vezes e meia o investimento total em 2006, o que parece pouco plausível.

Por conta da suposição feita sobre a taxa de depreciação, o valor do preço do capital foi então normalizado para, aproximadamente, 0,18, de modo que, quando multiplicado pelo

²¹ Para uma demonstração da validade da equação de calibração de δ_i ver o Apêndice B.

²² Os valores, por produto, do estoque de capital estão dispostos no Apêndice C.

estoque de capital o resultado fosse o Excedente Operacional Bruto (EOB), contabilizado na MCS 2006.

$$K_{i,t+1} = K_{i,t} * (1 - \delta_i) + ID_{i,t} \quad (44)$$

$$ID_{i,t} = \frac{\Theta_{i,t} * IT_{i,t}}{PINDEX_t * PK_t} \quad (45)$$

$$\Theta_{i,t} = \frac{\theta_{i,0} * \frac{PR_{i,t}}{APR_t}}{\sum_i \left(\theta_{i,0} * \frac{PR_{i,t}}{APR_t} \right)} \quad (46)$$

$$\theta_{i,0} = \frac{R_{i,0} * K_{i,0}}{\sum_i (R_{i,0} * K_{i,0})} \quad (47)$$

$$PR_{i,t} = R_{i,t} * K_{i,t} - \frac{\delta_i * K_{i,t} * PK_t}{K_{i,t} * PK_t} \quad (48)$$

$$APR_t = \frac{\sum_i (K_{i,t} * PK_t * PR_{i,t})}{\sum_i (K_{i,t} * PK_t)} \quad (49)$$

$$PK_t = \sum_i (B_{i,t}^k * P_{i,t}) \quad (50)$$

$$B_{i,t}^k = \frac{INV_{i,t}}{IT_t} \quad (51)$$

3.1.10 Atualização das variáveis exógenas

Como já fora mencionado, em um MCGE sequencial todas as variáveis precisam crescer a taxa de crescimento do estado estacionário, isto não é diferente para as variáveis exógenas, que incluem a oferta total de trabalho, as transferências, e a poupança externa. Esta condição é satisfeita pela introdução das equações (52) a (61).

$$LS_{t+1} = LS_t * (1 + g) \quad (52)$$

$$TRL_{t+1} = trl_t * (1 + g) \quad (53)$$

$$TLR_{t+1} = tlr_t * (1 + g) \quad (54)$$

$$TGM_{t+1} = tgm_t * (1 + g) \quad (55)$$

$$TGR_{t+1} = tgr_t * (1 + g) \quad (56)$$

$$TRG_{t+1} = trg_t * (1 + g) \quad (57)$$

$$TRM_{t+1} = trm_t * (1 + g) \quad (58)$$

$$TER_{t+1} = ter_t * (1 + g) \quad (59)$$

$$TME_{t+1} = tme_t * (1 + g) \quad (60)$$

$$BC_{t+1} = BC_t * (1 + g) \quad (61)$$

3.2 Descrição da base de dados

3.2.1 Descrição da Matriz de Contabilidade Social do ano de 2006

As principais fontes de dados para o estudo foram as Tabelas de Recursos e Usos (TRUs) publicadas pelo IBGE para o ano de 2006, com 110 produtos e 55 setores. As TRUs se subdividem nas tabelas de: oferta, onde estão dispostos os dados sobre a oferta total a preço do consumidor dos produtos, que por sua vez é a soma da oferta a preço básico com margens de transporte e comércio e impostos indiretos; produção, que relaciona a produção de cada produto por cada setor; importação de bens e serviços; consumo intermediário; demanda, a qual apresenta os componentes da demanda final (exportação, consumo das famílias, consumo do governo, variação de estoque e formação bruta de capital fixo) de cada produto; e, por fim, a tabela de valor adicionado, onde se observa a remuneração dos fatores trabalho e capital, os impostos e subsídios sobre a produção e o número de indivíduos empregados, por cada setor econômico.

Todavia, para a implementação do modelo, estas fontes precisam ser transformadas em uma Matriz de Contabilidade Social para o ano de 2006 (MCS 2006); para isso, os dados das TRUs foram complementados com informações das Contas Econômicas Integradas de 2006 (CEIs), também publicadas pelo IBGE (IBGE, 2006a e 2006b). Por sua vez, as CEIs se subdividem em sete contas: produção, geração da renda, alocação primária da renda, distribuição secundária da renda, redistribuição da renda, uso da renda e conta de capital. Todas elas referentes aos agentes institucionais: famílias, instituições sem fins lucrativos, empresas financeiras, empresas não-financeiras, administração pública e resto do mundo.

Uma MCS, além de conter os fluxos monetários entre as indústrias (matriz de consumo intermediário), generaliza a idéia de que as despesas para um setor são receitas para outro setor, para todas as transações realizadas em uma economia. Dessa forma, a MCS deve ser equilibrada: a soma de cada linha (receita) deve ser igual à soma de cada coluna (despesa) (ROBINSON *et al.*, 1999). Em outras palavras, a MCS deve atender a condição de *market clearance*, não podendo haver excedente de oferta nem de demanda em nenhum dos mercados

(WING, 2009). Ademais, uma MCS também é caracterizada por retornos constantes de escala, pois o valor cada produto nada mais é do que a soma de todos os custos necessários a sua produção: pagamentos aos fatores primários de produção e gastos com consumo intermediário, impostos e margens (WING, 2009).

No presente caso, a MCS 2006 resultante foi equilibrada em quase todas as contas, com exceção do bloco de transferências, por falta de informações suficientes no sistema de contas nacionais. Não obstante, como essas transferências são exógenas ao modelo, seus valores foram modificados de modo a forçar o equilíbrio, ou seja, a matriz foi ajustada pelo método dos resíduos. No caso de uma MCS desequilibrada em suas contas endógenas, duas metodologias, essencialmente matemáticas, para o balanceamento se destacam: o método RAS e o método *Cross Entropy* (CE) (ROBINSON; CATTANEO; ANDREA, 2000).

Ademais, uma MCS também deve obedecer aos princípios: do orçamento balanceado (*income balance*), pelo qual os fatores são plenamente utilizados e as rendas dos agentes são completamente exauridas (WING, 2009); e o equilíbrio no balanço de pagamentos, em que a poupança externa deve ser igual ao saldo na balança comercial, somado ao saldo entre as demais rendas recebidas e enviadas ao ROW. Desta feita, uma MCS que respeite os princípios de *market clearance*, do orçamento balanceado e o equilíbrio no balanço de pagamentos, pode ser definida, alternativamente, como uma representação do fluxo circular de renda, em valores monetários, onde é possível rastrear as etapas de geração, alocação e uso da renda (ARAÚJO JÚNIOR, 2006).

Na representação feita pelas TRUs, um bem pode ser produzido por mais de um setor, o que implicaria uma quantidade desnecessária de dados e equações, que não ajudariam na resolução da problemática de pesquisa proposta aqui. Sendo assim, foi utilizada a suposição de que cada produto corresponde a um setor, de modo que, a MCS 2006 teve todos os seus valores em termos de produtos.

A transformação indicada logo acima foi feita pós multiplicando os vetores de consumo intermediário, salários e excedente operacional bruto (únicos vetores que estavam em termos dos setores) das TRUs por uma matriz de transformação C' . A matriz C' pode ser obtida como a transposta da divisão entre cada elemento da matriz de produção (II) pelo total de sua coluna, conforme mostra a equação (62) (MILLER; BLAIR, 1985). Os demais vetores foram obtidos diretamente. Isto significa supor que a tecnologia é um atributo dos produtos ("*commodity-based technology*"), ou seja, os produtos, independentemente dos setores onde são produzidos, possuem os mesmos requerimentos de insumos (MILLER; BLAIR, 1985).

$$C' = \left[\frac{\Pi_{ij}}{\sum_i \Pi_{ij}} \right], \quad (62)$$

Onde: C' tem dimensão [56X110].

Alternativamente, a MCS 2006 poderia ter todos os seus valores em termos da produção dos setores, multiplicando-se os dados originais das TRUs por uma matriz de transformação Ω . A matriz Ω pode ser obtida como a transposta da divisão entre cada elemento de Π pelo total de sua linha, conforme mostra a equação (63) (TOURINHO; da SILVA; ALVES, 2006). O que implicaria supor que a tecnologia é um atributo dos setores – “*industry-based technology*” (MILLER; BLAIR, 1985).

$$\Omega = \left[\frac{\Pi_{ij}}{\sum_j \Pi_{ij}} \right], \quad (63)$$

Onde: Ω tem dimensão [56X110].

O uso de uma tecnologia *commodity-based* neste estudo foi decorrente do fato de que, somente usando tal suposição fora possível chegar a uma MCS, ao mesmo tempo: equilibrada e com todos os seus valores em termos de produtos.

Por sua vez, o interesse em utilizar uma MCS em termos de produtos decorre dos próprios objetivos dessa dissertação. As emissões de CO₂ não são, por exemplo, decorrentes do consumo do produto composto do setor Indústria Extrativa, que incluiria: carvão mineral, minerais não metálicos, carnes de aves, entre outros produtos. As emissões são antes, frutos do consumo de combustíveis (produtos). Logo, o arranjo da MCS 2006 em termos de produtos permitiu a avaliação das emissões de dióxido de carbono da forma mais direta e desagregada possível, sendo esse o motivo de sua escolha.

Uma vez que todos os vetores foram transformados para terem seus valores expressos em termos de produtos, foi preciso agregar boa parte desses produtos, para reduzir o número de produtos considerados na análise. Agregação essa, que caso não fosse feita, resultaria em uma MCS com 110 produtos. Tal agregação se consistiu, tão somente, da soma das contas referentes a produtos integrantes do mesmo setor, conforme código disposto nas próprias TRUs.

Por outro lado, as contas do produto “Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana” tiveram de ser desagregadas, uma vez que a maioria da eletricidade produzida no país se encontra inclusa nesse produto. Essa desagregação seguiu a suposição feita por Oliveira e Teixeira (2009) de que 80% da produção desse produto corresponde a produção de eletricidade, que passou a ser um produto isolado, enquanto os

outros 20% passaram a constituir o produto “Serviços Industriais de Utilidade Pública” (SIUP).

Ao final de todas as manipulações, a MCS 2006 ficou com 23 produtos: agropecuária, indústria extrativa, petróleo e gás natural (P&G), carvão mineral, indústria de transformação, gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, gasoálcool, óleo combustível (OC), óleo diesel (OD), outros produtos do refino de petróleo e coque (doravante apenas outros secundários), álcool, máquinas e equipamentos, eletricidade, SIUP, construção civil, comércio, transporte, serviços de informação, intermediação financeira, atividades imobiliárias e aluguéis (aluguéis), outros serviços e administração pública. Quanto aos produtos energéticos, focos desse estudo, eles compreendem: P&G, carvão mineral, GLP, gasolina, gasoálcool (mistura de gasolina e álcool utilizada nos veículos automotores), OC, OD, outros secundários, álcool e eletricidade.

	Setores	EOB	L	HH	Empresa	MC	MT	G	ROW	CC
Setores	CI			CM _i				CG _i	X _i	INV _i
EOB	R _i K _i									
L	WL _i ^D								trl	
HH		RMK	$\sum_i WL_i^D$		DIV			tgm	trm	
Empresa		RE		tme						
MC	TXC _i									
MT	TXT _i									
G	TXS _i			ty*Y _M						
ROW	M _i		tlr		ter			tgr		
CC				S _M	S _E			S _G	BC	S _T

Figura 2 – Matriz de contabilidade social estilizada.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 traz uma representação estilizada de uma MCS. Nela estão representados: os setores, o EOB, o fator trabalho (L), a família representativa (HH), a empresa representativa, as margens de comércio e transporte (MC e MT), o governo (G), o resto do mundo (ROW) e a conta de capital (CC). Os valores situados nas linhas são receitas, enquanto os valores nas colunas são despesas, para cada um dos setores, margens ou agentes. As células em branco indicam que não há transações entre a categoria na coluna e na linha²³.

²³ O Excedente Operacional Bruto (EOB), usado para calcular R_iK_i, inclui rendimento com trabalho por parte dos trabalhadores autônomos, mas esse fato não foi considerado no presente estudo.

Através da Figura 2 também é feita a associação entre a MCS e as equações do modelo. Isto porque, a MCS é sempre o equilíbrio de referência para um MEGC. Em outras palavras, as equações do MEGC, que foram expostas na subseção anterior, serão primeiramente resolvidas a partir dos dados da MCS 2006²⁴. Por se tratar de um MEGC sequencial, o modelo utilizado aqui, calibrado para os dados da MCS 2006 resultou não em um único equilíbrio de referência, tal como seria no caso de uma MEGC estático, mas sim em uma trajetória de referência, doravante chamada apenas de BAU²⁵, a qual será detalhada na seção posterior.

Entretanto, a MCS não precisa, necessariamente, ser utilizada como insumo de um MEGC. É possível, e comum, a construções de modelos de multiplicadores, semelhantes aos modelos de insumo-produto, com base em matrizes de contabilidade social. Um exemplo de um estudo desse tipo é o de Parikh *et al* (2009), que constrói uma MCS para a economia indiana a partir de dados de 2004 e 2005 para analisar a estrutura de emissões, diretas e indiretas, de CO₂. Nesse estudo, os autores concluem que: não existe uma relação direta e forte entre os principais setores emissores de CO₂ e os que respondem por partes substanciais do PIB; as emissões *per captas* anuais do grupo dos 10% mais ricos é quase 25 vezes maior que as emissões do grupo dos 10% mais pobres. Em um estudo similar, mas realizado usando uma MCS de 2002 para a Espanha, Duarte, Mainar e Sánchez-Chóliz (2010) encontraram uma relação direta (fraca) entre a renda e as emissões de CO₂ *per captas*. Porém, supondo uma distribuição de renda perfeitamente igualitária (índice de Gini = 0) concluíram que aquela relação se invertia, pois os indivíduos com menor renda tinham um padrão de consumo mais poluidor do que os com renda individual, originalmente, alta.

O fato de o MEGC ser calibrado para reproduzir a economia em um dado momento do tempo, no caso presente o ano de 2006, é outro ponto frágil dessa metodologia. Mas não tendo sido o ano de 2006 um período de fortes desequilíbrios na economia brasileira, acredita-se que os dados deste ano forneceram um bom ponto inicial para o modelo.

3.2.2 Cálculo dos coeficientes de emissões de CO₂

O caráter ambiental da pesquisa levou a necessidade de outras bases de dados importantes: o BEN 2007 e os coeficientes de emissões do IPCC (2006)²⁶. Publicado pelo

²⁴ O Apêndice D traz a MCS 2006 completa.

²⁵ *Business as Usual*.

²⁶ *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Ministério de Minas e Energia, o BEN reúne informações sobre o consumo final de cada energético, para a geração de energia, em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (10^3 tep).

Uma vez de posse do consumo dos insumos energéticos, era preciso transformar esse consumo nos coeficientes de emissões de CO_2 utilizados pelo modelo (γ_{en}). Primeiramente, multiplicou-se o consumo de cada energético, disposto no BEN 2007, pelos coeficientes padrões de emissões por combustíveis fósseis contidos no IPCC (2006)²⁷. Mas para tanto, foi preciso antes converter os dados do BEN 2007 (em 10^3 tep) pelo fator de conversão para terajoule (41,868) disponível em Ministério da Ciência e Tecnologia (2001), pois IPCC (2006) utiliza o terajoule como unidade padrão. O resultado são emissões em quilogramas de CO_2 , que então são convertidos em milhões de toneladas, para facilitar a análise posterior.

Produtos energéticos na MCS 2006	Insumos energéticos no BEN 2007
P&G	Gás natural
Carvão Mineral	Carvão mineral
GLP	GLP
Gasolina	Gasolina
Gasoálcool	Gasolina
	Álcool
OC	Óleo combustível
OD	Óleo diesel
Outros secundários	Outros secundários de petróleo
	Coque de petróleo
	Coque de carvão mineral
	Gás de coqueira
	Querosene
	Nafta
Álcool	Álcool
Eletricidade	Eletricidade

Quadro 1 – Equivalência entre os produtos energéticos na MCS 2006 e no BEN 2007.

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2007) e IPCC (2006).

O segundo passo diz respeito à associação entre os dados do BEN 2007 e da MCS 2006, a qual é apresentada no Quadro 1. Por ele, nota-se que o produto Outros secundários está associado às emissões de seis insumos energéticos. Já o caso do Gasoálcool é ainda mais especial, pois não apenas está associado a dois insumos do BEN 2007, como esses insumos também constituem produtos na MCS 2006. De modo que, o processo usado para calcular os coeficientes de emissões do gasoálcool, da gasolina e do álcool é explicitado mais a frente.

²⁷ No caso do fator de emissão do carvão mineral foi utilizada uma média dos fatores contidos no IPCC (2006).

Os valores, em milhões de toneladas, das emissões de CO₂ por cada energético poluidor, bem como sua participação em relação ao total, foram calculados para o ano base 2006 e são reportados na Tabela 1. O produto responsável pela maior parte das emissões, cerca de 32%, foi o óleo diesel (OD), seguido pelo produto outros secundários (22,58%). Os com menores participações foram o álcool, seguido da gasolina; a eletricidade foi omitida, pois se considera que seu consumo não gera poluição, pelo menos não diretamente. Contudo, esses resultados não determinam quais os produtos que podem ser considerados “sujos” e quais podem ser considerados “limpos”, pois uma pequena participação nas emissões em 2006 pode significar, tão somente, que aquele produto foi pouco consumido, não denotando seu fator de emissão.

As emissões de CO₂ causadas pelo consumo energético de: lenha, bagaço de cana lixívia, outras recuperações, carvão vegetal e carvão vapor; os quais estão relacionados no BEN 2007, não foram considerados no modelo. Seja por problemas de associação dos dados do BEN 2007 com os coeficientes de emissões do IPCC (2006), seja por incapacidade de desagregar esses produtos a partir das TRUs. Desta feita, as emissões totais reportadas na Tabela 1 (315,95 milhões de toneladas) correspondem a, aproximadamente, 60% das emissões que podem ser calculadas através do BEN 2007, para o ano de 2006. Todavia, ainda que não tenha considerado as emissões por parte de alguns produtos, os principais setores energéticos brasileiros (P&G, álcool e eletricidade) foram considerados, de tal forma que se espera que os resultados apresentados mais adiante não mudariam de forma qualitativa e se alterariam quantitativamente pouco, caso todos produtos pudessem ser considerados, uma vez que os choques, sobretudo o aumento dos investimentos, continuariam concentrados nos mesmos produtos.

Tabela 1 – Volume de emissões de CO₂, em milhões de toneladas e participação de cada produto, em percentual. 2006.

Produto	Volume de emissões	Participação
P&G	31,99	10,13
Carvão Mineral	13,80	4,37
GLP	18,56	5,88
Gasolina	12,86	4,07
Gasoálcool	35,45	11,22
OC	19,64	6,22
OD	102,07	32,31
Outros secundários	71,34	22,58
Álcool	10,24	3,24
Total	315,95	100,00

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

De maneira geral, usou-se os resultados para as emissões de CO₂ e o quadro de conversão, descritos acima, para calcular os coeficientes de emissões, em milhões de toneladas de CO₂ por milhões de reais de demanda doméstica, simplesmente rearranjando a equação (40) conforme segue.

$$\gamma_{en} = \frac{CO_{2,en,0}}{(DI_{en,0} + CM_{en,0} + CG_{en,0} + INV_{en,0})} \quad (40a)$$

No caso do gasoálcool, da gasolina e do álcool γ_{en} , foi calculado de forma diferenciada, pelas expressões (40b), (40c) e (40d) abaixo:

$$\gamma_{gasoálcool} = \frac{(\mu_{gasolina,gasoálcool} * CO_{2,gasolina,0}) + (\mu_{álcool,gasoálcool} * CO_{2,álcool,0})}{(DI_{gasoálcool,0} + CM_{gasoálcool,0} + CG_{gasoálcool,0} + INV_{gasoálcool,0})} \quad (40b)$$

$$\gamma_{gasolina} = \frac{(1 - \mu_{gasolina,gasoálcool}) * CO_{2,gasolina}}{(DI_{gasolina,0} + CM_{gasolina,0} + CG_{gasolina,0} + INV_{gasolina,0})} \quad (40c)$$

$$\gamma_{álcool} = \frac{(1 - \mu_{álcool,gasoálcool}) * CO_{2,álcool}}{(DI_{álcool,0} + CM_{álcool,0} + CG_{álcool,0} + INV_{álcool,0})} \quad (40d)$$

$$\text{Onde: } \mu_{i,gasoálcool} = \frac{(DI_{gasoálcool,0} + CM_{gasoálcool,0} + CG_{gasoálcool,0} + INV_{gasoálcool,0}) * \zeta_i}{(DI_{i,0} + CM_{i,0} + CG_{i,0} + INV_{i,0}) + (DI_{gasoálcool,0} + CM_{gasoálcool,0} + CG_{gasoálcool,0} + INV_{gasoálcool,0}) * \zeta_i}$$

é a proporção do consumo total do insumo i atendido, implicitamente, pelo consumo de gasoálcool; e ζ_i assume o valor 0,2, para $\mu_{álcool,gasoálcool}$ e 0,8 para $\mu_{gasolina,gasoálcool}$, indicando, respectivamente, a proporção de álcool e gasolina no gasoálcool.

Feitas essas considerações, a Tabela 2 apresenta os valores de γ_{en} em ordem decrescente. Através dela é possível notar que o mais “sujo” dos produtos energéticos considerados é o carvão mineral, enquanto os mais “limpos” são a eletricidade e o P&G, este último pelo fato de o petróleo não ser consumido diretamente como energético, mas sim usado na produção de seus derivados, como a gasolina. A primeira vista, parece surpreendente o fato de o gasoálcool apresentar um coeficiente de poluição maior do que da gasolina e do álcool, que juntos o constituem. Porém, isso ocorre porque a maior parte da demanda doméstica da gasolina, cerca de 70%, ter sido atendida, implicitamente, pelo gasoálcool, ou, alternativamente, por consequência de $\mu_{gasolina,gasoálcool} \cong 70\%$.

Tabela 2 – Coeficientes de emissão de CO₂ para produtos energéticos da MCS 2006, em milhões de toneladas de CO₂ por milhões de reais de demanda doméstica.

Produtos energéticos na MCS 2006	γ_{en}
Carvão Mineral	0,00310
OC	0,00243
Outros secundários	0,00204
OD	0,00163
GLP	0,00124
Gasoálcool	0,00062
Gasolina	0,00060
Álcool	0,00053
P&G	0,00034
Eletricidade	0,00000

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

3.2.3 Valores dos parâmetros

Até o momento foram feitas menções a diversos parâmetros que alimentaram o MEGC, de elasticidade de Armington a taxa de crescimento populacional. Contudo, nenhum valor foi atribuído a esses parâmetros. Para suprir essa falha as Tabelas 3 e 4, trazem respectivamente, os valores dos principais parâmetros do modelo (que independem dos produtos) e das elasticidades: de Armington, de substituição entre capital e trabalho e de transformação.

Tabela 3 – Principais parâmetros do MEGC.

Parâmetro	Descrição	Valor
pms	Propensão a poupar da família	0,070
g	Taxa de crescimento da população	0,020
δ	Taxa de depreciação setorial do capital	0,050
ty	Taxa do imposto de renda sobre a família	0,049
tk	Taxa de imposto sobre os rendimentos com capital da empresa	0,209
tdv	Parcela da receita das empresas, com capital, remetida as famílias	0,189
λ	Parcela da receita do capital paga as famílias	0,359

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE (2006a e 2006b).

No que tange aos parâmetros dispostos na Tabela 3, seus valores foram todos calibrados de acordo com a MCS 2006, salvo as taxas de crescimento populacional e depreciação, que foram supostas exogenamente, de forma que, eles representam características estruturais da economia brasileira. Chamam a atenção nessa tabela, por um lado, os valores muito baixos de pms (7%), que implica uma poupança da família muito aquém de sua renda disponível, e da taxa de imposto de renda (cerca de 5%) e, pelo outro lado, os valores elevados de tk (aproximadamente 21%), tdv (quase 19%) e de λ (35,9%). Particularmente, associando o valor de $g = 2\%$ com o valor suposto para δ implica em dizer que o estoque de capital, no modelo, corresponde a cerca de 14 vezes o investimento total realizado em 2006.

Quanto às elasticidades na Tabela 4, é possível notar que muitos valores se repetem entre os diferentes produtos, isto é fruto: da ausência dos valores para alguns produtos nos artigos utilizados como fonte de dados, é o caso das elasticidades de substituição entre capital e trabalho (σ_i^x) com valor igual a 1,2; e do nível de desagregação utilizado por aquelas fontes, por exemplo, Oliveira e Teixeira (2009) trabalham com apenas nove setores. Sobre os valores em si das elasticidades, a grande maioria delas foram elásticas, ou seja, apresentaram valor acima da unidade. As exceções foram: as elasticidades de substituição entre os fatores de produção dos produtos indústria extrativa, carvão mineral e máquinas; as elasticidades de Armingnton da indústria de transformação, eletricidade, SIUP e construção civil; e as elasticidades de transformação da indústria extrativa, P&G, carvão mineral e construção civil.

Todas as três fontes utilizadas para obter os valores das elasticidades, calculam esses valores para setores e não para produtos. Contudo, uma vez que esses setores são caracterizados pelos seus principais produtos e não dispendo de uma base de dados melhor,

espera-se que os valores das elasticidades reproduzidos na Tabela 4 sejam suficientemente realistas²⁸.

Tabela 4 – Elasticidades de substituição entre capital e trabalho, de Armington e de transformação entre exportações e vendas domésticas.

Produto	σ_i^x	σ_i^S	σ_i^T
Agropecuária	1,20	0,90	1,50
Indústria extrativa	0,30	1,30	0,80
P&G	1,87	1,30	0,80
Carvão Mineral	0,30	1,30	0,80
Indústria de Transformação	1,20	0,84	2,00
GLP	1,29	1,18	2,00
Gasolina	1,29	1,18	2,00
Gasoálcool	1,20	1,50	2,00
OC	1,29	1,18	2,00
OD	1,29	1,18	2,00
Outros secundários	1,29	1,18	2,00
Álcool	1,29	1,50	2,00
Máquinas	0,85	1,78	2,00
Eletricidade	1,20	0,90	1,10
SIUP	1,20	0,84	1,10
Construção civil	1,20	0,90	0,90
Comércio	1,20	1,10	1,10
Transporte	1,20	1,30	1,10
Serviços de informação	1,20	1,10	1,10
Intermediação financeira	1,20	1,10	1,10
Aluguéis	1,20	1,10	1,10
Outros serviços	1,20	1,20	1,10
Administração pública	1,20	1,10	1,10

Fonte: Elaboração própria com base em dados de Oliveira e Teixeira (2009), Souza (2010) e Tourinho, Kume e Pedroso (2007).

3.3 Estratégias de simulação

De posse do MEGC calibrado²⁹ para o ano de referência (2006), era preciso delimitar: por quantos períodos o modelo deveria ser resolvido e como seriam implementados os

²⁸ O Apêndice E traz as variações percentuais, das quatro principais variáveis do modelo, relativas a cada choque, mas utilizando elasticidades 20% maiores ou menores que as dispostas na Tabela 3.

²⁹ O MEGC utilizado foi resolvido sempre utilizando o *software* para modelagem matemática GAMS (*General Algebraic Modeling System*) utilizando o solver CONOPT, posto que, o modelo fora identificado como um CNS (*Constrained Nonlinear System*).

choques sobre os investimentos nos setores energéticos; incluindo por quanto tempo durariam os choques e quais produtos sofreriam os mesmos – todos, ou apenas alguns.

Conforme fora especificado, o modelo não incorpora progresso tecnológico de nenhum tipo e, por conseguinte, não há possibilidade de mudanças em nenhuma de suas elasticidades de substituição e transformação. Dessa maneira, na medida em que se aumenta o horizonte de tempo para o qual o modelo é resolvido, este vai perdendo sua capacidade de representar a realidade. Mas por outro lado, redefinir o modelo como um MEGC estático o tornaria incapaz de identificar os efeitos do choque nos investimentos, sobre a acumulação de capital e o aumento da produção dele decorrente; o aumento da produção seria apenas consequência de um aumento de demanda. Com base nesses dois interesses conflitantes, optou-se por resolver o modelo para um horizonte temporal de 10 anos, na tentativa de captar resultados importantes dos choques, mas sem se desprender em demasiado da realidade empírica. O resultado dessa simulação sem choques foi a, já mencionada, trajetória de referência (BAU), sobre a qual foram feitas as comparações com as simulações envolvendo os choques.

Com relação à duração dos choques, duas opções se apresentavam: poder-se-ia implementar os choques durante apenas parte do período considerado (um ou dois anos, por exemplo); ou durante todo o período. Tendo a história ensinado que o Brasil sofre de um problema crônico de déficit de oferta de infra-estrutura, e uma vez que a oferta de energia faz parte desse conjunto maior chamado de infra-estrutura, foi feita a suposição de quem tem havido no Brasil um subinvestimento em energia. Por conseguinte, os choques foram aplicados durante todo o período de dez anos.

Para a aplicação dos choques era essencial definir que produtos os receberiam. Nesse sentido, a opção escolhida foi dividir, assim como Wing (2009), os produtos energéticos em dois grandes grupos: “sujos” e “limpos”. O critério para essa divisão foi, justamente, o coeficiente de emissão (γ_{en}). Álcool e eletricidade formaram o grupo dos insumos “limpos” e os demais o grupo dos insumos “sujos” ou poluidores, resultando em duas simulações distintas, com um mesmo montante de investimento extra destinado a cada grupo. Apesar do produto P&G ter um coeficiente de emissão menor do que o do álcool, ele também foi incluído entre os produtos poluidores, pois como serve de matéria-prima fundamental para a produção dos demais insumos “sujos”, a redução de seu preço, resultante do aumento dos investimentos, teria fortes impactos sobre as emissões de outros produtos altamente poluidores, como, por exemplo, o óleo diesel.

Quanto ao valor específico do aumento dos investimentos, ele foi de um montante de R\$ 23,7 bilhões anuais, o que corresponde a aproximadamente 1% do PIB em 2006. O financiamento desse investimento se deu totalmente pelo aumento da poupança externa, que nas simulações com choques foi deixada livre, ao passo que o investimento total foi mantido fixo, no primeiro período. Com o uso do financiamento externo não é necessário: considerar a possibilidade de um efeito *crowding out*, posto que, o financiamento através de poupança nacional pudesse fomentar um aumento na taxa de juros, desestimulando os investimentos nos demais setores; nem modelar, explicitamente, o déficit governamental, caso o aumento dos investimentos fosse financiado pela poupança pública.

As escolhas sobre quais variáveis devem ser fixas e quais devem ser livres, caracterizam o fechamento (*closure*) de um MEGC. No presente caso, o fechamento é chamado de keynesiano, pois o modelo é dirigido pelos investimento ao invés de ser dirigido pela poupança, o que caracterizaria um fechamento neoclássico³⁰.

No contexto das equações apresentadas na seção 3.1, o aumento dos investimentos para os produtos energéticos corresponde a uma reformulação das equações (31) (38), (45) e (51) além da introdução da expressão (64), tal como se segue:

$$INV_{i,t} = \frac{\beta_i * (IT_t + \sum_{en_k} index_{en_k})}{P_{i,t}^C} \quad (31a)$$

$$IT_t + \sum_{en_k} index_{en_k} = S_{M,t} + S_{G,t} + S_{E,t} + \Theta_t * BC_t \quad (38a)$$

$$ID_{en_k,t} = \frac{\Theta_{en_k,t} * IT_t}{PINDEX_t * PK_t} + \frac{index_{en_k}}{PINDEX * PK_t} \quad (45a)$$

$$B_{i,t}^k = \frac{INV_{i,t}}{(IT_t + \sum_{en_k} index_{en_k})} \quad (51a)$$

$$index_{en_k} = (\sum_{en_k} index_{en_k}) * \left(\frac{K_{en}}{\sum_{en_k} K_{en,0}} \right) \quad (64)$$

Onde: k representa um subconjunto dos produtos energéticos, que pode ser o subconjunto “sujo” ou “limpo”.

A equação (37a) tem a função de manter o equilíbrio entre investimento e poupança; (44a) tem o papel de aumentar os investimentos apenas nos setores escolhidos. E a expressão (64) estabelece um critério para o rateio dos R\$ 23,7 bilhões de investimento extra, com base no estoque de capital de cada setor.

Devido à recorrência na literatura sobre o tema, do uso de mecanismos de preço para a redução das emissões de CO₂, também foram simulados cenários com a presença de um

³⁰ Para mais informações sobre os tipos de fechamento de MEGCs ver Robinson (2006).

imposto sobre as emissões, cujo valor foi estabelecido em R\$ 100,00 por tonelada de CO₂. Esse imposto ambiental foi outorgado sobre o preço ao consumidor – preço que guia não só o consumo da família e do governo, mas também as despesas com investimentos e consumo intermediário - de todos os produtos energéticos, independentemente, de qual grupo estivesse recebendo o choque, concomitante, sobre os investimentos, conforme mostra a expressão (5a).

Em conformidade com os estudos de Wissema & Dellink (2007), Wing (2009) e Hanson e Laitner (2004), a equação (13a) determina a reformulação da renda da família para incorporar as receitas com o imposto ambiental ($TXCO_{2,t}$), com vistas a compensar a família pela eventual perda de bem-estar provocada pelo aumento de preços, por sua vez, decorrente da introdução do novo imposto. Já as expressões (65) e (66), simplesmente definem, respectivamente, as receitas totais do imposto ambiental e sua alíquota.

$$P_{en,t}^C = \left(\frac{P_{en,t}^{va} * D_{en,t} + P_{en,t}^M * M_{en,t}}{Q_{en,t}} \right) * (1 + tco_{2,en}) \quad (5a)$$

$$Y_{M,t} = W_t * \sum_i L_{i,t}^D + DIV_t + RMK_t + E_t * trm_t + PINDEX_t(tgm_t + trl_t - tlr_t) + TXCO_{2,t} \quad (13a)$$

$$TXCO_{2,t} = \sum_{en} (tco_{2,en} * (CM_{en,t} + CG_{en,t} + INV_{en,t} + DI_{en,t})) \quad (65)$$

$$tco_{2,en} = 100 * \frac{CO_{2,en,t}}{(CM_{en,t} + CG_{en,t} + INV_{en,t} + DI_{en,t})} \quad (66)$$

Desta maneira, cinco cenários, além da trajetória de referência, foram simulados:

1. Simulação 1 (IDEX_L): Aumento dos investimentos equivalente a 1% do PIB, distribuído entre os produtos energéticos “**limpos**” – de acordo com seu estoque de capital inicial – durante dez anos;
2. Simulação 2 (IDEX_S): Aumento dos investimentos equivalente a 1% do PIB, distribuído entre os produtos energéticos “**sujos**” – de acordo com seu estoque de capital inicial – durante dez anos;
3. Simulação 3 (BAU_tco2): Imposição de um imposto de R\$ 100,00 por tonelada de CO₂, cuja receita é transferida para a família, sobre a trajetória de referência BAU.
4. Simulação 3 (IDEX_L_tco2): Aumento dos investimentos equivalente a 1% do PIB, distribuído entre os produtos energéticos “limpos”. Acompanhado da imposição de um imposto ambiental de R\$ 100,00 por tonelada de CO₂, cuja receita é transferida para a família.
5. Simulação 4 (IDEX_S_tco2): Aumento dos investimentos equivalente a 1% do PIB, distribuído entre os produtos energéticos “sujos”. Acompanhado da imposição de um

imposto ambiental de R\$ 100,00 por tonelada de CO₂, cuja receita é transferida para a família.

Os resultados de todas as cinco simulações para as emissões de CO₂, PIB e outras variáveis macroeconômicas de interesse são expostos e analisados na seção posterior.

4 Análise de resultados

Antes de apresentar e discutir os resultados das quatro simulações realizou-se um teste de homogeneidade do modelo, que consiste na multiplicação do numerário, no caso $PINDEX_t$, por um número real positivo qualquer, de modo que, todos os preços e variáveis nominais (valores) sejam multiplicados por esse mesmo número, enquanto as variáveis reais (volumes) permanecem inalteradas.

A Tabela 5 traz o resultado do teste de homogeneidade, com $PINDEX_t$ multiplicado por dois, para algumas variáveis selecionadas. Nota-se que as variáveis reais, PIB_t , $CO_{2,t}$, KT_t (estoque de capital total) e BC_t , não apresentaram qualquer variação. Ao passo em que, as variáveis nominais, W_t , E_t , YM_t e CTM_t , sofreram variação igual aquela imposta ao numerário. Portanto, o modelo se mostrou homogêneo de grau zero nos preços, ou seja, somente mudanças nos preços relativos são capazes de alterar suas variáveis reais.

Tabela 5 – Teste de homogeneidade.

Variáveis	Variação em percentual
PIB_t	0,000
$CO_{2,t}$	0,000
KT_t	0,000
BC_t	0,000
W_t	100,000
E_t	100,000
YM_t	100,000
CTM_t	100,000

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b) e apontamentos de Araújo Júnior (2006).

4.1 Investimentos na produção de energéticos “limpos” (IDEX_L)

Na Tabela 6 estão dispostos os valores dos investimentos extras destinados aos produtos energéticos “limpos”, rateados conforme seu estoque de capital inicial. Examinando essa tabela verifica-se que a maior parte desses recursos, aproximadamente R\$ 21,05 bilhões (89% do total), é destinada a produção de eletricidade, enquanto o restante, R\$ 2,6 bilhões (11%), é destinada a produção de álcool.

Tabela 6 – Investimentos extras anuais destinados a produção de energéticos “limpos”, em R\$ milhões.

Produto	IDEX_L
Álcool	2637,41
Eletricidade	21057,43
Total	23694,84

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE (2006a e 2006b).

O aumento dos investimentos se faz sentir, diretamente, sobre a acumulação de capital da economia. O Gráfico 2 traz a evolução da taxa de crescimento do estoque de capital total para o cenário sem choque e para a simulação IDEX_L. A inspeção do mesmo revela que o capital total da economia cresceu a taxas maiores que a taxa de crescimento no estado estacionário (2%), na presença do choque sobre os investimentos. Não obstante, na medida em que o choque foi fixo ao longo dos anos, o ritmo da acumulação tendeu a voltar ao ritmo no estado estacionário. Isto por que, os investimentos extras anuais passaram, cada vez mais, a serem menores, em relação ao estoque de capital daqueles produtos que sofreram os choques. Ao final, em 2015, o estoque de capital calculado para IDEX_L foi 2,64% (R\$ 6.957.567 milhões) maior que o calculado para BAU (R\$ 6.778.343 milhões).

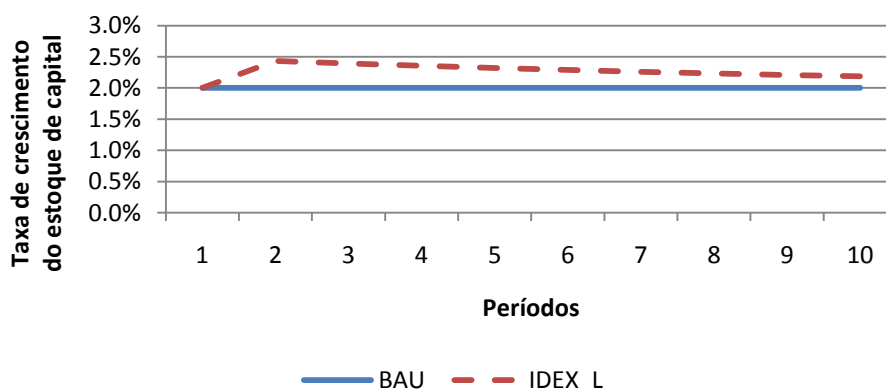


Gráfico 2 – Evolução da taxa de crescimento do capital total. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

A aceleração do processo de acumulação de capital trás conseqüências para o crescimento da economia. No Gráfico 3, percebe-se que a taxa de crescimento do PIB real apresentou comportamento praticamente idêntico aquele verificado pelo estoque de capital total: uma aceleração inicial em relação ao estado estacionário de 0,5%; que tendeu a desaparecer, mesmo mantendo-se o choque sobre os investimentos.

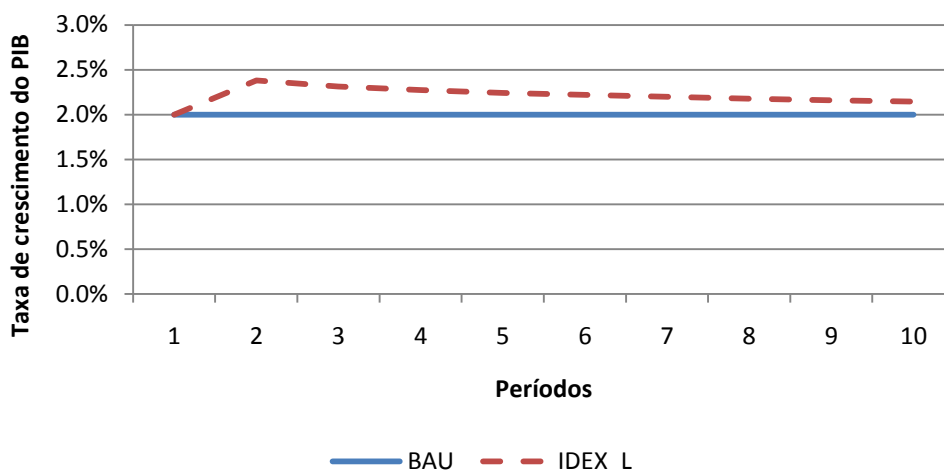


Gráfico 3 – Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

No entanto, a aceleração do crescimento econômico não se traduz, inequivocamente, em um PIB mais elevado do que o verificado quando do estado estacionário, conforme mostra o Gráfico 4. Neste gráfico, que traz as trajetórias do PIB real nas simulações de referência e IDEX_L, é observado que o valor do PIB real em IDEX_L só ultrapassa seu valor em BAU a partir do terceiro ano. Tal fato decorre da maneira como o choque fora introduzido e dos mecanismos inerentes ao MEGC utilizado. Ao passo em que, os investimentos foram financiados por um aumento da poupança externa, no primeiro período, houve um forte aumento na entrada de recursos vindos do ROW na economia, o que forçou uma valorização (redução) da taxa de câmbio de aproximadamente 2,28%. Por seu turno, a valorização do câmbio induziu uma redução das exportações líquidas de 35,54%, resultando em decréscimo do PIB de 0,51% para o primeiro período. O PIB em 2006 só não se reduziu mais por conta de um aumento substancial da demanda por investimentos de 4,39%, também consequência direta do choque nos investimentos.

A partir do segundo período, os já mencionados fenômenos de aceleração da acumulação de capital passaram a se fazer presentes, diminuindo a diferença entre o PIB em IDEX_L e em BAU, até que no terceiro período esses efeitos de prazo mais longo se

sobrepuseram sobre o efeito inicial. O PIB real em 2015 para IDEX_L foi então 1,57% maior do que em BAU.

No âmbito setorial os efeitos foram diversos, dependendo das conexões de cada setor com o ROW e com os demais setores nacionais, mas a tendência geral foi de redução da produção, como evidencia a própria redução do PIB, para os primeiros períodos, o que fora revertido para os períodos maiores. Reversão esta, que foi mais proeminente para os produtos alvos diretos dos choques. Mais importante do que isso, é que essas tendências, verificadas no âmbito da produção, governaram o comportamento do bem-estar da família e das emissões de CO₂, conforme é demonstrado a seguir.

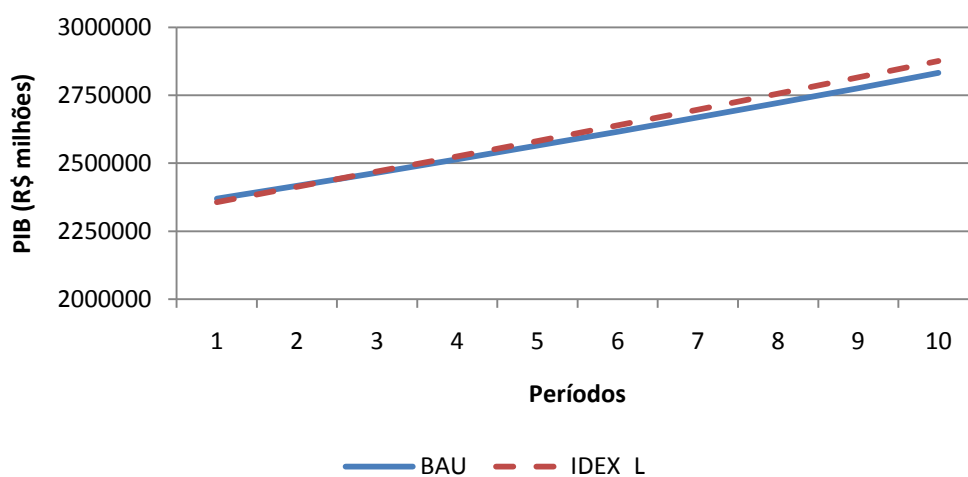


Gráfico 4 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Não obstante a importância de se analisar o comportamento do PIB real, o mesmo pode ou não se traduzir em uma melhora do bem-estar para a família representativa. Por conta disso, o Gráfico 5 traz a evolução da variação equivalente para a simulação IDEX_L. Esses resultados mostram que o bem-estar da família começou sofrendo uma redução de aproximadamente R\$ -4,8 bilhões, mas depois passou a seguir uma trajetória ascendente, com taxas de crescimento decrescente, até alcançar, em 2015, o patamar de quase R\$ 37 bilhões. A queda do bem-estar no primeiro período está diretamente ligada à redução da produção da maioria dos bens neste ano, a qual resultou em decréscimo de 0,29% do consumo real da família. Quando se deu início ao processo de aceleração da acumulação de capital, o consumo real da família e, por conseguinte a VE, respondeu mais rapidamente que a produção, pois, ao mesmo tempo em que a produção dos bens começava a reverter à redução inicial, a taxa de

câmbio permaneceu valorizada até o penúltimo período, mantendo o consumo de bens importados mais acessível.

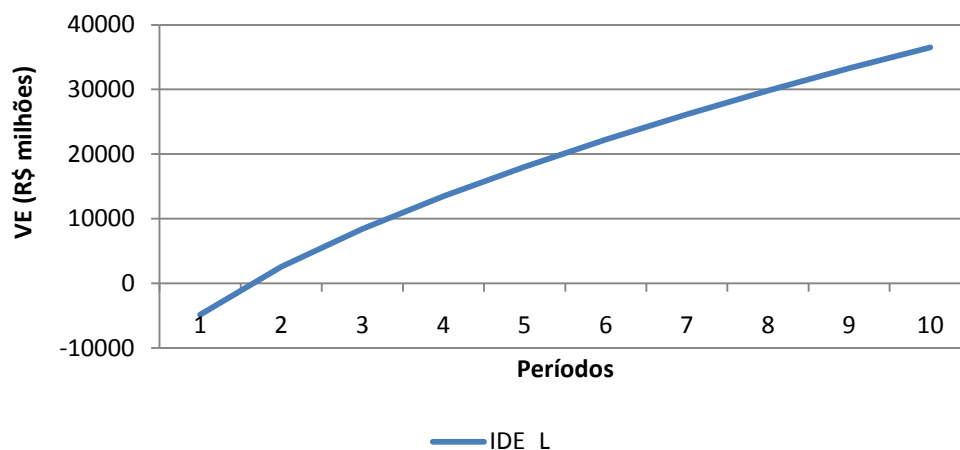


Gráfico 5 – Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

No que diz respeito ao comportamento das emissões de CO₂, o Gráfico 6 mostra que essas foram muito semelhantes para IDEX_L e BAU, com a trajetória de IDEX_L apresentando um valor inicial um pouco menor (0,12%), em quanto o valor final foi maior (2,02%). Novamente este comportamento está intimamente ligado aos efeitos verificados no âmbito da produção. A queda geral da produção nos primeiros períodos, além da já mencionada redução no consumo da família, resultou também em queda, para a maioria dos produtos: do consumo do governo (0,20%) e da demanda intermediária (0,11%); tendência que foi sendo revertida gradativamente, na medida em que se acelerava a acumulação de capital e com ele o crescimento da produção. Tomados agregadamente, os insumos energéticos não foram exceção ao comportamento explicitado acima, conforme mostra o Gráfico 7, que plota a evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, muito semelhante a evolução das emissões totais de CO₂. Na verdade, foi a evolução do consumo de produtos energéticos que governou a trajetória das emissões, posto que essas últimas são o resultado da multiplicação do consumo total de cada insumo energético, pelo seu respectivo coeficiente de emissão (γ_{en}).

Não obstante, um mesmo nível de consumo agregado de insumos energéticos pode implicar em diferentes valores de emissões totais de CO₂, dada a possibilidade de diferentes composições entre esses insumos dentro desse agregado, composições que podem ser mais ou menos poluidoras. Prova disso, é que o consumo total de produtos energéticos em 2015 foi

5,66% maior para IDEX_L, de modo que, a variação das emissões correspondeu a 35,65% da variação do consumo agregado de insumos energéticos. Desta feita, grande parte do aumento do consumo de produtos energéticos foi atendida por produtos “limpos”. Em outras palavras, houve uma mudança na matriz energética brasileira a favor de insumos energéticos menos poluidores.

Uma vez que as emissões de dióxido de carbono permanecem décadas na atmosfera, é importante mencionar que o valor acumulado das mesmas, durante os dez anos das simulações, foi 1,11% maior para IDEX_L (3479,915) em relação a BAU (3459,617).

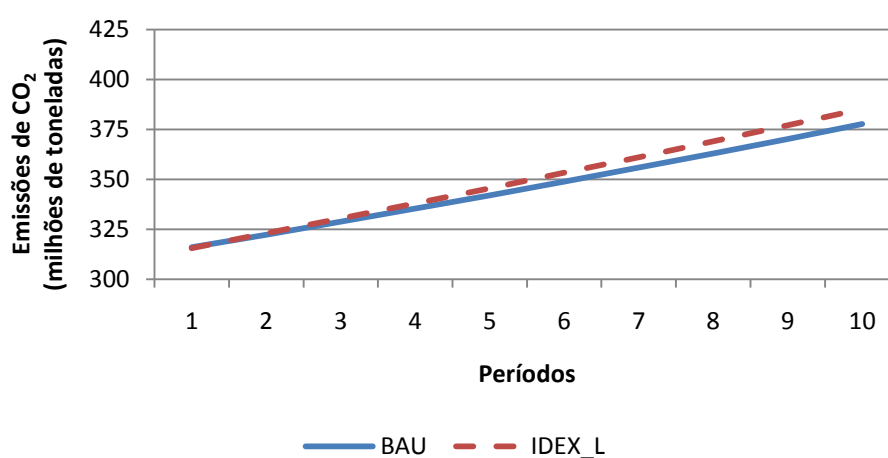


Gráfico 6 – Evolução das emissões totais de CO₂, em milhões de toneladas. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

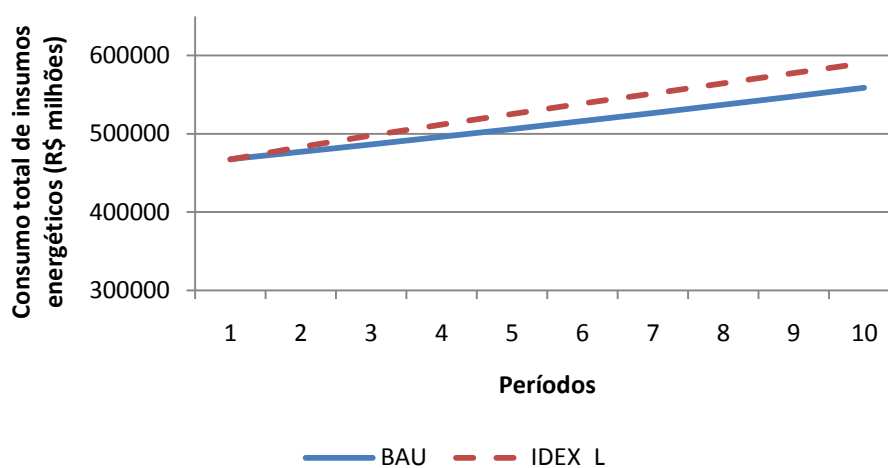


Gráfico 7 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Ainda tratando das emissões de CO₂ é interessante relacionar as mesmas com o PIB real, é o que faz o Gráfico 8, em que se reportam os resultados para a intensidade de poluição, definida aqui como o cociente entre as emissões totais de dióxido de carbono (em toneladas) e o PIB real, a qual foi usada no estudo como indicador da “eficiência ambiental” da economia. O que se percebe é que o choque nos investimentos fez com que essa intensidade aumentasse desde o primeiro ano até o último. Enquanto a intensidade de poluição foi de 133,34 toneladas de CO₂ por R\$ milhões ao longo da trajetória BAU; para IDEX_L ela foi de, aproximadamente, 133,86 em 2006 e de 133,90 em 2015. Com outras palavras, o aumento dos investimentos na produção de álcool e eletricidade resultou em redução da “eficiência ambiental” da economia brasileira; redução que foi maior para os primeiros períodos, quando também houve queda do PIB real, e últimos períodos.

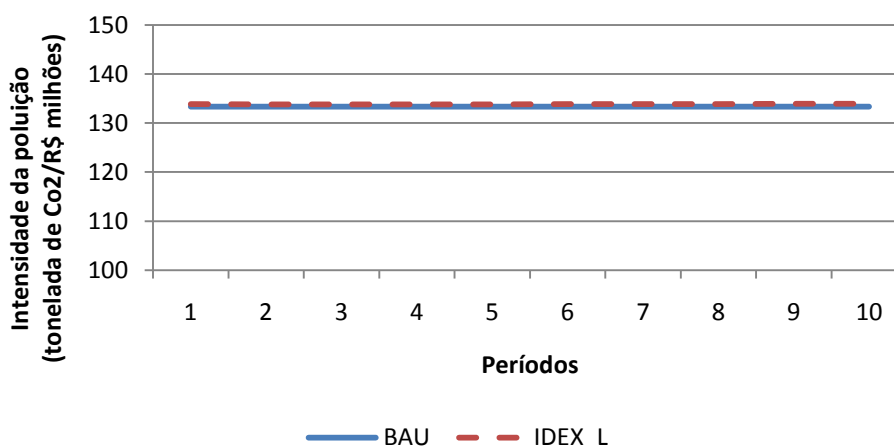


Gráfico 8 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_L.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

4.2 Investimentos na produção de energéticos “sujos” (IDEX_S)

A Tabela 7 expõe os investimentos extras anuais destinados a cada um dos insumos energéticos “sujos”. Tal qual em IDEX_L, existiu também aqui uma forte concentração desses recursos, com cerca de 92% deles sendo destinados para a produção de P&G e o restante sendo rateado entre sete produtos.

Tabela 7 - Investimentos extras anuais destinados a produção de energéticos “sujos”, em R\$ milhões.

Produto	IDEX_S
P&G	21884,22
Carvão Mineral	96,55
GLP	418,83
Gasolina	204,15
Gasoálcool	247,89
OC	90,20
OD	342,05
Outros secundários	410,95
Total	23694,84

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Uma vez que os investimentos extras totais reportados nas Tabelas 6 e 7 são iguais, suas consequências sobre a acumulação de capital total da economia também foram as mesmas, tornando desnecessária a apresentação de um gráfico nos moldes do Gráfico 2. Porém, o mesmo não pode ser dito sobre a taxa de crescimento do PIB real (Gráfico 9), nem sobre a trajetória do PIB real em si (Gráfico 10) pois a divisão diferenciada do choque nos investimentos teve também efeito diferenciado sobre o PIB. Ainda que seja difícil verificar esse fato visualmente através dos Gráficos 9 e 10, quando os investimentos extras foram direcionados para a produção de energéticos “sujos” o resultado foi um crescimento econômico levemente maior e mais persistente, que o propiciado por IDEX_L. Ao final, em 2015, o PIB real para IDEX_S foi 2,05% maior que em BAU e 0,48% maior do que em IDEX_L.

Quanto ao fato de o PIB real inicialmente ter sofrido um decréscimo e os efeitos disso sobre o comportamento: da VE, do consumo total de insumos energéticos, das emissões totais e da intensidade da poluição; seus mecanismos geradores, explicitados na subseção anterior para IDEX_L, continuam válidos. De fato, a valorização da taxa de câmbio e, consequentemente: a redução das exportações líquidas, do PIB, da VE, do consumo total de insumos energéticos, das emissões totais e da intensidade da poluição; no primeiro período, foi igual em IDEX_L e em IDEX_S.

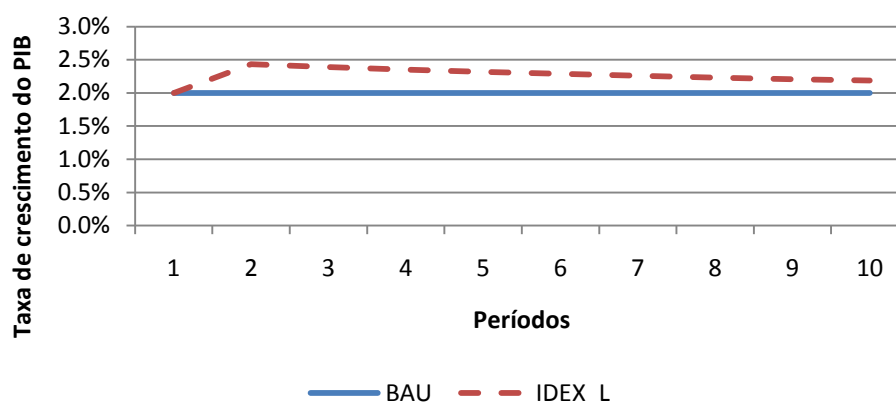


Gráfico 9 – Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_S.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

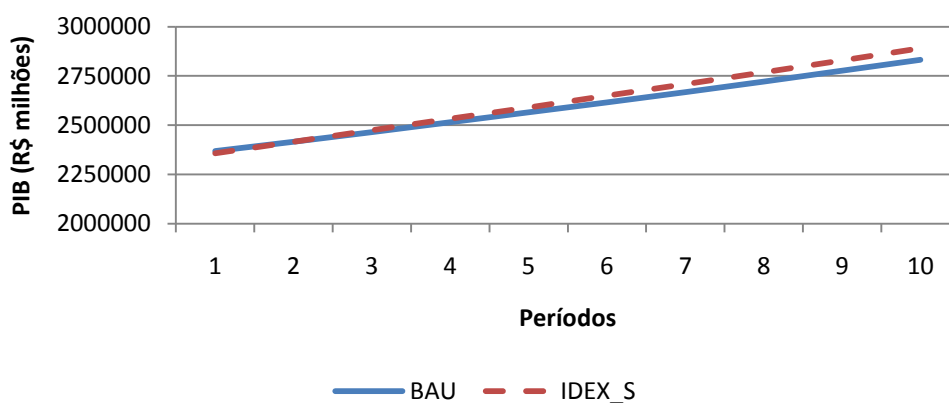


Gráfico 10 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_S.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Quanto à variação equivalente, Gráfico 11, a trajetória para IDEX_S foi aparentemente similar aquela experimentada em IDEX_L. Todavia, o resultado final foi substancialmente diferente. Em 2015, a variação equivalente em IDEX_S foi de cerca de R\$ 40 bilhões, o que correspondeu a um aumento em relação ao cenário IDEX_L de 8,02%.

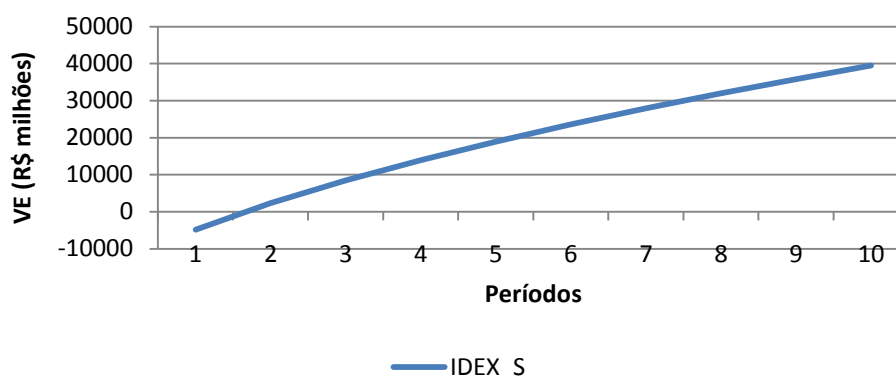


Gráfico 11 – Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_S.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

O Gráfico 12 plota a evolução das emissões totais de dióxido de carbono pela economia brasileira entre 2006 e 2015. Esses valores mostram que o crescimento das emissões para IDEX_S foi bem mais acelerado do que o verificado para IDEX_L. O valor das emissões em 2015 foi de 413,19 milhões de toneladas de CO₂, valor 9,43% maior do que em BAU e 7,26% maior do que em IDEX_L. Considerado o acumulado, um aumento dos investimentos destinados a produção de energia “suja” gerou uma escalada das emissões de 5,32% em relação à BAU.

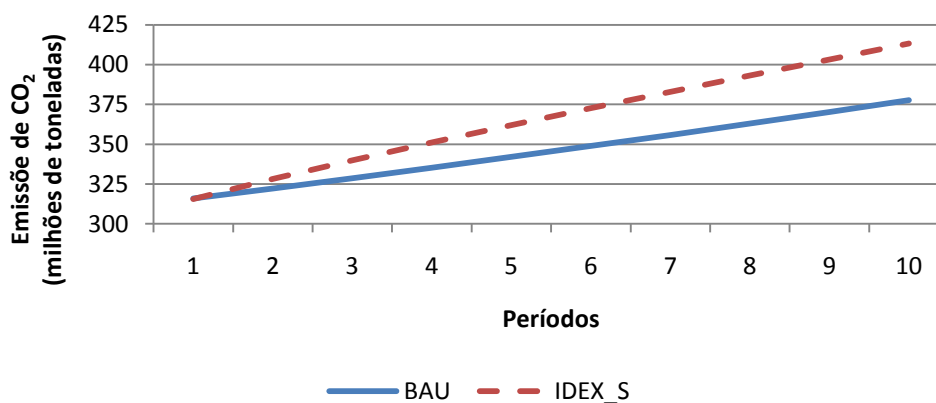


Gráfico 12 – Evolução das emissões totais de CO₂, em milhões de toneladas. IDEX_S.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

O comportamento das emissões pode ser explicado pela trajetória do consumo total de insumos energéticos, disposta no Gráfico 13, qualitativamente similar a trajetória das emissões, mas quantitativamente diferente. O crescimento desse consumo em 2015 foi de 10,33%, de maneira que, a variação das emissões correspondeu a 91,29% da variação do

consumo total de insumos energéticos. Isto indica que, quando o choque foi direcionado para produtos energéticos “sujos”, também ocorreu uma mudança na matriz energética nacional que favoreceu o consumo de insumos menos poluidores. Ainda que essa mudança tenha sido menos pronunciada do que quando o choque foi direcionado a produção de produtos energéticos “limpos”, haja vista a diferença entre os coeficientes de emissões dos dois grupos.

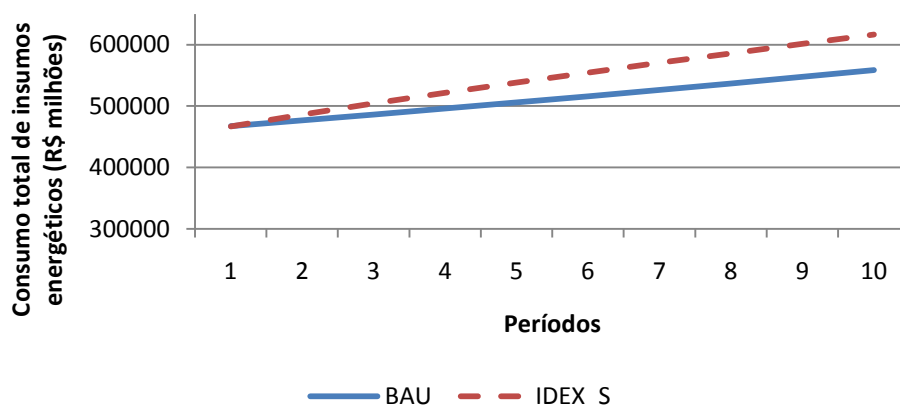


Gráfico 13 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_S.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

A evolução da intensidade da poluição, registrada no Gráfico 14, reforça a piora dos indicadores ambientais do modelo. Não apenas ocorreu um aumento da razão emissões totais por PIB real, como também esse aumento foi crescente. De um aumento de 0,39%, no primeiro período, para 6,91%, em 2015. Em outras palavras, o aumento das emissões além de ter sido maior que o aumento do PIB real, piorou com o passar dos anos; diferentemente do ocorrido em IDEX_L.

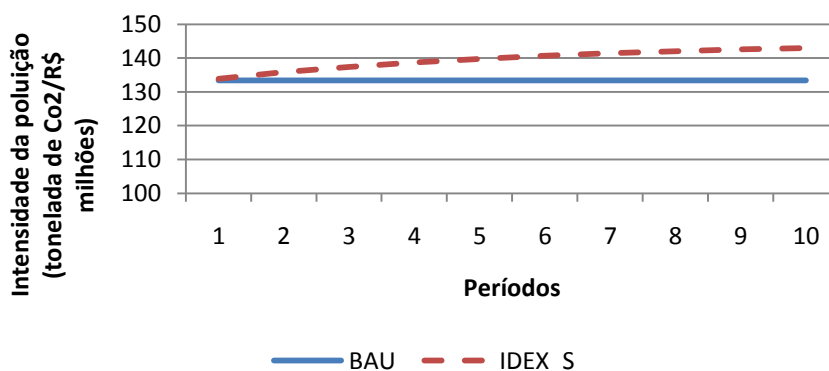


Gráfico 14 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_S.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

4.3 Adoção de um imposto ambiental (BAU_tco₂)

Em conformidade com o explicitado na metodologia, este cenário envolveu apenas a imposição de um imposto de R\$ 100,00 por tonelada de carbono, aplicado diretamente sobre o preço ao consumidor de cada um dos produtos energéticos poluidores. As alíquotas, *ad-valorem* equivalentes, são relacionadas na Tabela 8. A alíquota do álcool foi de 5,33%, mas não foi a menor dentre elas, a menor foi a de P&G, 3,45%, consequência do baixo coeficiente de emissão desse produto, como já fora mostrado na Tabela 2. Em seguida, vieram os demais energéticos “sujos”: gasoálcool (6,05%), gasolina (6,22%), OD (16,32%), outros secundários (20,35%), OC (24,34%) e carvão mineral (31,04%).

Tabela 8 – Alíquotas do imposto ambiental, em percentual.

Produto	Alíquotas
P&G	3,45
Carvão Mineral	31,04
GLP	12,43
Gasolina	6,22
Gasoálcool	6,05
OC	24,34
OD	16,32
Outros secundários	20,35
Álcool	5,33

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

O efeito da adoção desse imposto ambiental sobre o estoque de capital total da economia foi o de desaceleração do processo de acumulação do mesmo, conforme mostra o Gráfico 17. Mais do que isso, essa redução da acumulação de capital tendeu a se agravar com os anos; em 2015 o estoque de capital da economia seria de apenas R\$ 6.623.122 milhões, ou 2,29% menor que aquele que vigoraria no estado estacionário.

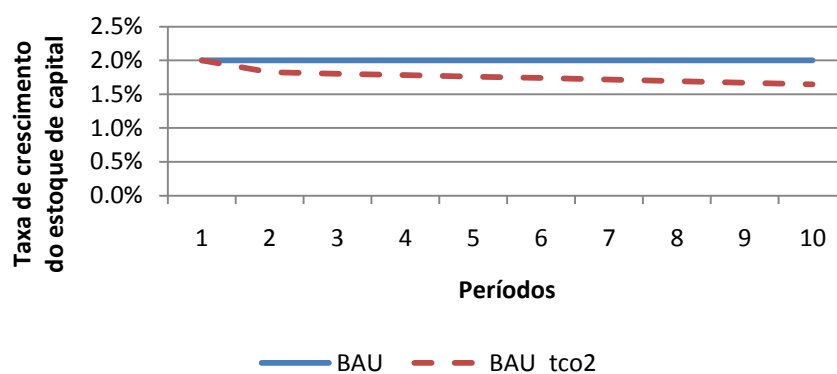


Gráfico 15 - Evolução da taxa de crescimento do capital total. BAU_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Enquanto que nas duas simulações anteriormente analisadas (IDEX_L e IDEX_S) os choques tinham: um efeito perverso sobre a demanda agregada – sobretudo no primeiro período; e um efeito positivo sobre a oferta agregada, que com o tempo passava a ser dominante; a introdução do imposto ambiental teve apenas um efeito negativo sobre a demanda agregada, o qual foi se acumulando com o passar dos anos. Isto por que, o aumento dos preços dos insumos energéticos, provocado pelo imposto ambiental, reduziu a demanda por esses bens, ao mesmo tempo em que aumentou o preço de parte dos outros produtos, que utilizavam esses insumos na sua produção, dessa forma, ocorreu um aumento generalizado nos preços, já no primeiro período, que reduziu o crescimento: da produção, da demanda por trabalho, do salário e da utilidade; e desestimulou os investimentos. Por conseguinte, no período posterior, a firma, que cresceu menos, reduziu a demanda por trabalho, o que reduziu novamente o nível de salários. Logo, o crescimento do consumo da família passou a ser ainda menor, desestimulando os investimentos, o que provocou nova desaceleração da acumulação de capital para o período seguinte. O processo então continuou, reduzindo cada vez mais a acumulação de capital, em relação à BAU e, com ela: o PIB real, a VE, o consumo total de insumos energéticos e as emissões de CO₂, conforme é mostrado a seguir.

As consequências de um processo de acumulação de capital mais lento sobre o PIB real podem ser inferidas a partir dos Gráficos 16 e 17. O crescimento do PIB real passou a ficar cada vez mais abaixo de seu nível no estado estacionário, com o passar dos anos, refletindo o comportamento da acumulação de capital, mas numa escala menor. Ao final, em 2015 o PIB se reduziu, em relação à BAU, de 1,59%.

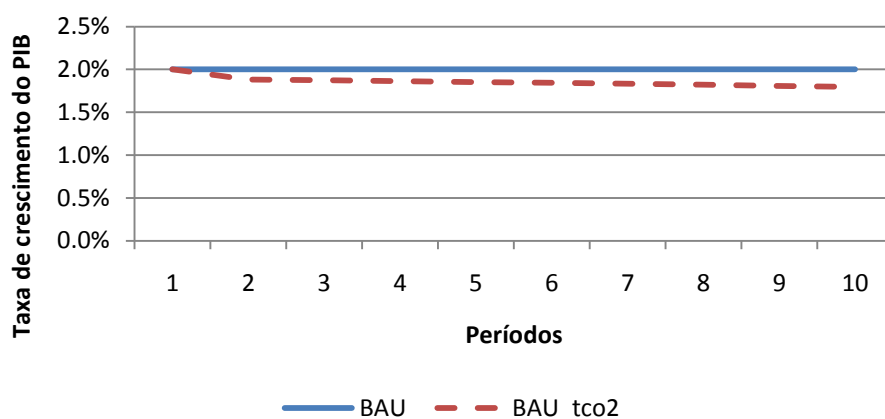


Gráfico 16 - Evolução da taxa de crescimento do PIB real. BAU_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

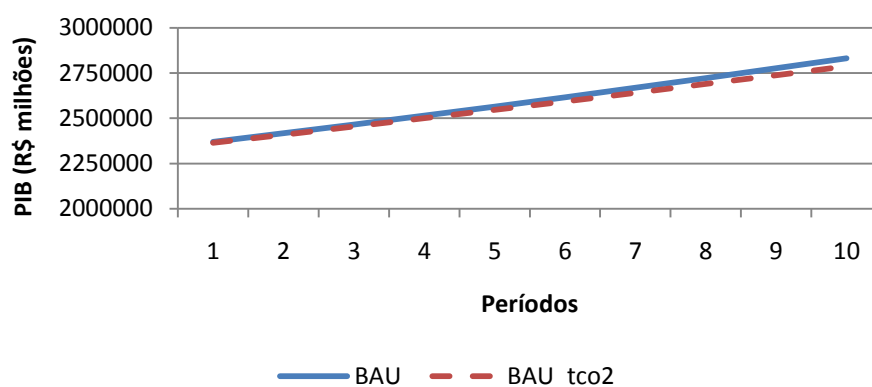


Gráfico 17 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. BAU_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

A evolução da variação equivalente, Gráfico 18, torna evidente o efeito perverso que o imposto ambiental teve sobre o bem-estar da família representativa, quando aplicado isoladamente, qual seja: uma redução do bem-estar que se agrava com o tempo. Em 2015 a redução chegou a cerca de R\$ -23 bilhões. Vale lembrar, que esta situação poderia ser ainda bem pior, caso a receita do imposto ambiental não fosse totalmente transferida às famílias.

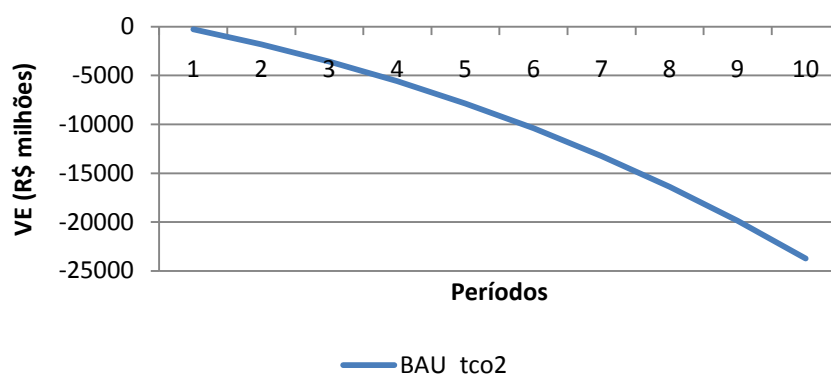


Gráfico 18 - Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. BAU_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

O Gráfico 19, ao plotar a evolução das emissões, no caso da implementação de um imposto ambiental, mostra que introdução do mesmo tem também um lado positivo: a redução crescente das emissões. Em 2006 essa redução foi de 2,37%, a qual cresceu, monotonamente, até chegar a 4,55% em 2015, enquanto, no acumulado, correspondeu a uma redução de 3,52%. Tal redução se deu, em grande medida, por conta do comportamento do consumo total de insumos energéticos (Gráfico 20), que no último período foi 4,01% menor do que em BAU. Mas como esta redução do consumo foi inferior a redução das emissões, tem-se um indicativo, de que também para BAU_tco₂, ocorreria uma mudança na matriz energética, favorável ao consumo de insumos menos poluidores.

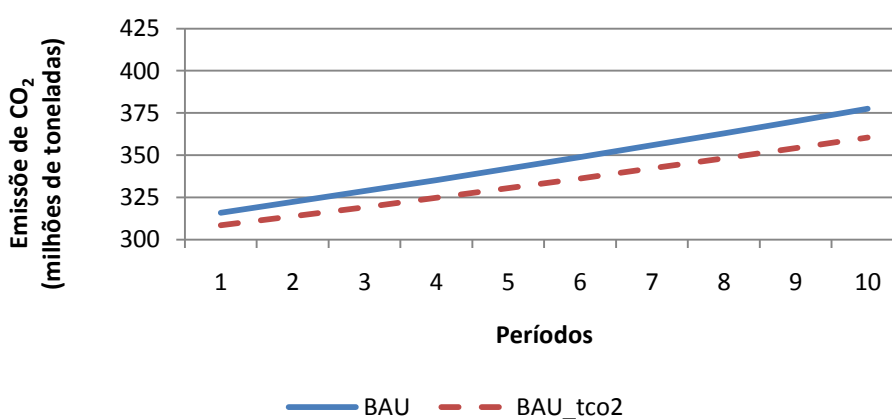


Gráfico 19 – Evolução das emissões totais de CO₂, em milhões de toneladas. BAU_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

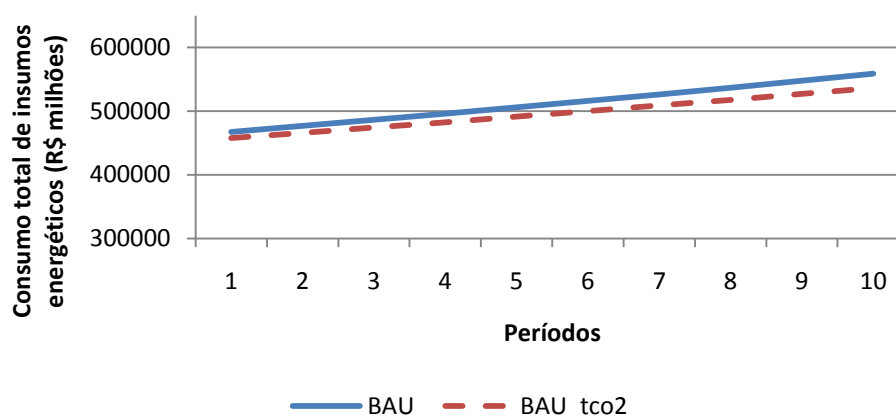


Gráfico 20 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. BAU_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

No Gráfico 21, registra-se a evolução da intensidade da poluição. Dele é possível concluir que a intensidade da poluição se reduziu desde o primeiro período (2,17%) e continuou a cair, lentamente, até o último período (2,95%). Sendo assim, apesar de ter resultado em decrescimento do PIB real, o imposto ambiental gerou um decrescimento ainda maior das emissões de dióxido de carbono. Resultado qualitativamente idêntico ao encontrado por: Tourinho, Motta e Alves (2003); Al-Amin, Jaafar e Siwar (2008); Ferreira Filho e Rocha (2007); Feijó e Azevedo (2006); Sancho (2010); Wing (2009); e Wissema e Dellink (2007). A razão para tal fato foi a própria incidência do imposto ambiental, exclusiva sobre produtos energéticos poluidores, que além de mudar a configuração da matriz energética brasileira, provocou uma redução do consumo agregado de produtos energéticos, 2,5 vezes maior do que a redução que provocou no PIB.

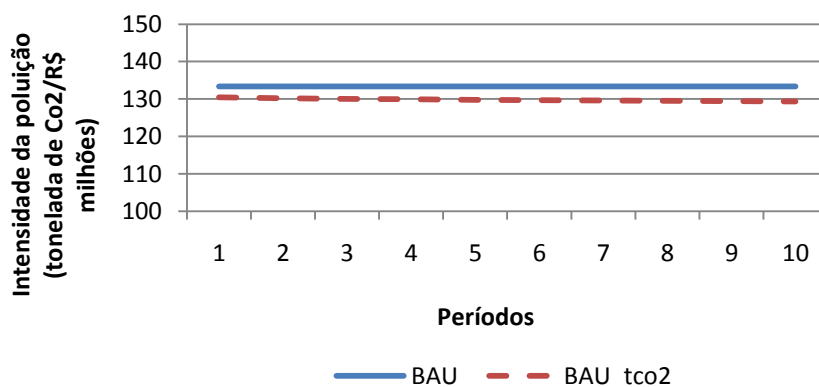


Gráfico 21 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. BAU_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

4.4 Investimentos na produção de energéticos “limpos” e adoção de um imposto ambiental (IDEX_L_tco₂)

Os efeitos, da combinação de um aumento dos investimentos destinados a produção de energéticos “limpos”, com um imposto ambiental de R\$ 100 por tonelada de carbono, sobre o processo de acumulação de capital, são reportados no Gráfico 22. Através desse gráfico, é possível perceber que o efeito do aumento dos investimentos conseguiu suplantiar o efeito da adoção do imposto, resultando em uma aceleração da acumulação de capital, mas em ritmo menor do que aquele verificado em IDEX_L. Em 2015, o resultado, em relação à BAU, foi um crescimento de 2,7%; em relação a BAU_tco₂ isso correspondeu a um aumento de 5,10%.

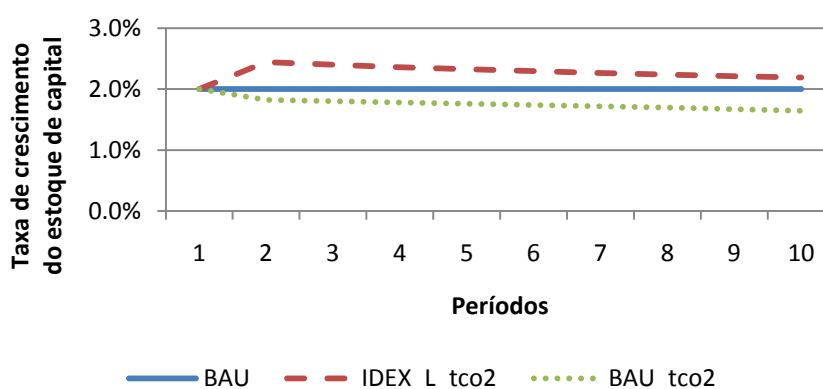


Gráfico 22 - Evolução da taxa de crescimento do capital total. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

No que diz respeito ao comportamento do PIB real, elucidado pelos gráficos Gráfico 22 e 23, ele seguiu o mesmo comportamento da acumulação de capital, mas em níveis menores. O crescimento, ao final de dez anos, foi de 1,08% em relação à BAU e de 2,71% em relação à BAU_tco₂. Também é digno de nota, que no primeiro período, os efeitos perversos sobre a demanda agregada foram os preponderantes, a saber: redução das exportações líquidas, provocada pelo aumento da entrada de recursos vindas do ROW; e redução da demanda doméstica provocada pela introdução de mais um imposto. Desta feita, o valor inicial para o PIB para IDEX_tco₂ foi menor 0,91%, em relação a BAU e 0,72%, em relação a BAU_tco₂. Fato que também fora verificado para as demais variáveis analisadas, diferenciando-se apenas em magnitude.

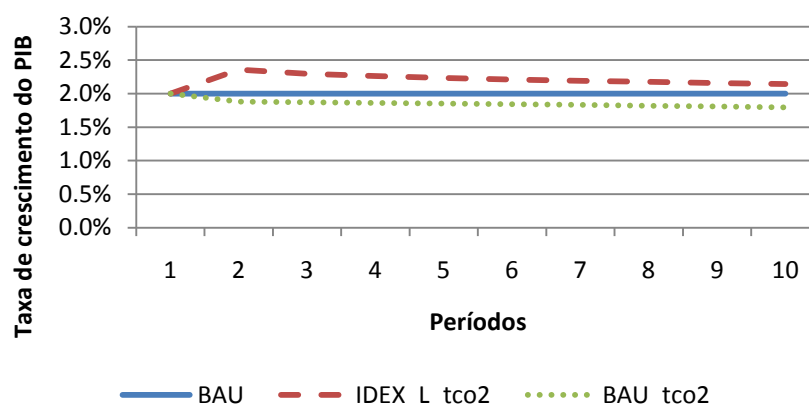


Gráfico 23 - Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

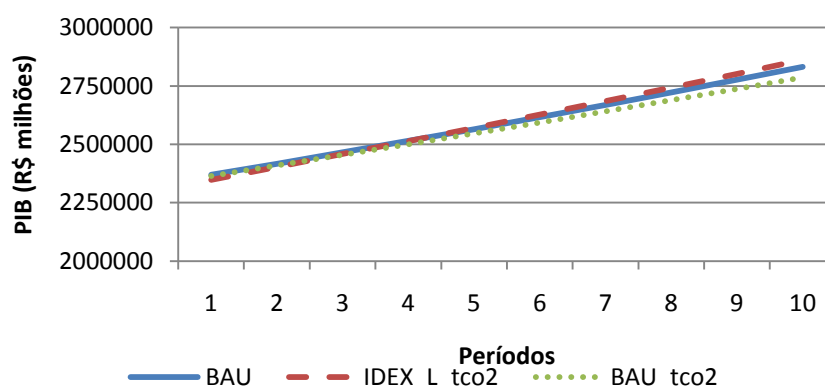


Gráfico 24 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

O comportamento da variação equivalente, Gráfico 25, denota que o imposto ambiental reduziu o nível de bem-estar da economia em apenas uma pequena magnitude, quando acompanhado por um aumento dos investimentos na produção de energéticos “limpos”; comparando-se com o bem-estar alcançado quando somente o aumento dos investimentos foi aplicado.

Tratando especificamente do valor de VE para o primeiro período, em IDEX_L_tco₂ com relação a esse valor em BAU_tco₂ (Gráfico 18) e IDEX_L, percebe-se que o primeiro foi 24,89 vezes menor que o segundo e 1,44 vezes menor do que o terceiro. Mais do que explicitar a volatilidade da medida de bem-estar utilizada – consequência da forma funcional escolhida para a utilidade – esses valores mostram a importância dos efeitos dinâmicos dos choques sobre o bem-estar. Caso esses choques fossem aplicados no contexto de um MEGC estático, mesmo que o aumento da poupança externa afetasse diretamente o capital, o bem-estar teria pouca variação entre as diversas simulações, diferentemente do que aconteceu em

um contexto dinâmico, com o choque sobre os investimentos reaplicado durante todo o período de análise, como foi realizado nesta dissertação.

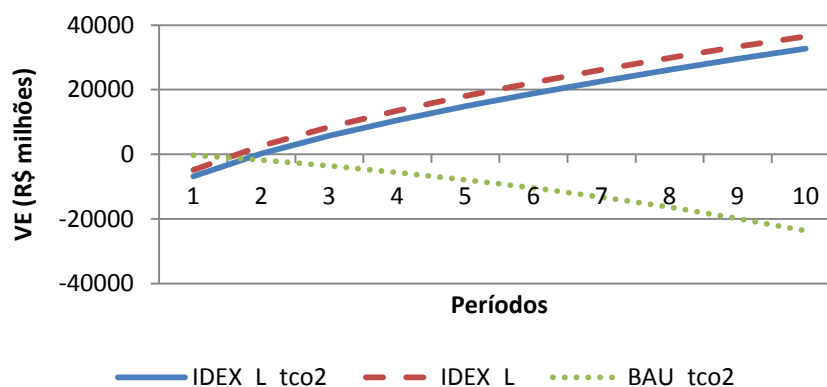


Gráfico 25 - Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

O Gráfico 26 registra a evolução das emissões de IDEX_L_tco₂, BAU e BAU_tco₂; enquanto o Gráfico 27 plota as trajetórias, para as mesmas simulações, do consumo agregado de insumos energéticos. Esses gráficos mostram que, no que tangeu ao comportamento das emissões, o efeito que se sobressaiu foi o do imposto ambiental, pois as mesmas permaneceram abaixo das emissões calculadas para BAU ao longo de todo o período, de modo que, o seu valor no último período para IDEX_L_tco₂ foi 1,21% menor do que o registrado para BAU; ao passo em que, as emissões acumuladas foram 1,85% menores. Enquanto isso, no que concerniu ao comportamento do consumo total de produtos energéticos, o efeito predominante foi o do aumento dos investimentos, posto que, sua trajetória começou abaixo da trajetória de referência, mas em 2015 o resultado foi um aumento de 2,64% em relação à BAU. Ou seja, o aumento do consumo de produtos energéticos foi acompanhado por uma redução das emissões, indicando uma melhora na “eficiência ambiental”.

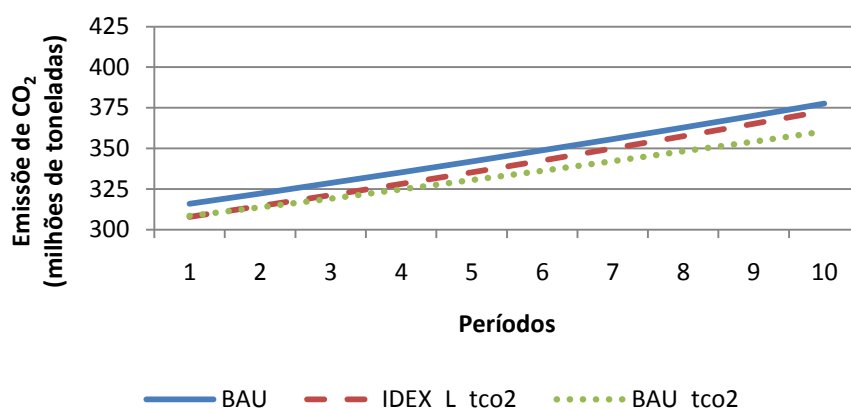


Gráfico 26 – Evolução das emissões totais de CO₂, em milhões de toneladas. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

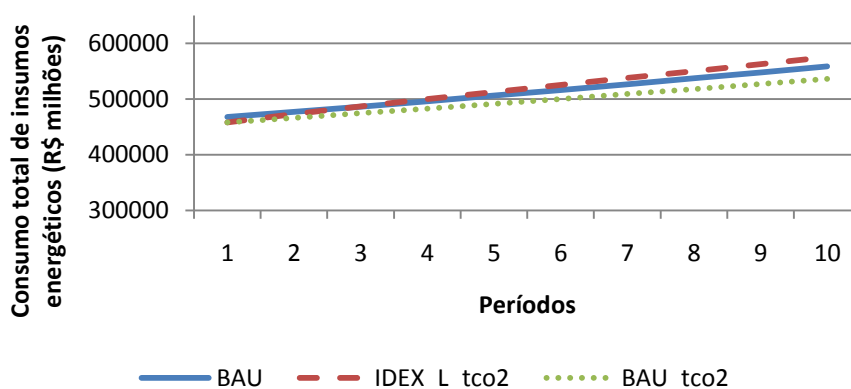


Gráfico 27 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

A evolução da intensidade da poluição para IDEX_L_tco₂, em relação a BAU e BAU_tco₂, registrada no Gráfico 28, corrobora com análise realizada logo acima, sobre a melhora da “eficiência ambiental” da economia. Isto porque, o Gráfico 28 mostra que a intensidade da poluição para IDEX_L_tco₂, não apenas foi menor do que a de BAU, como caiu de forma crescente.

Em resumo, a combinação de um imposto ambiental com um aumento dos investimentos destinados a produção de energia “limpa” foi capaz de gerar, ao mesmo tempo: crescimento econômico acima de um estado estacionário, melhora no bem-estar e redução das emissões totais de CO₂. Pois enquanto o imposto ambiental induziu o uso de insumos energéticos “limpos” o aumento dos investimentos destinados a produção desses mesmos insumos permitiu que eles conseguissem atender a esse aumento da demanda.

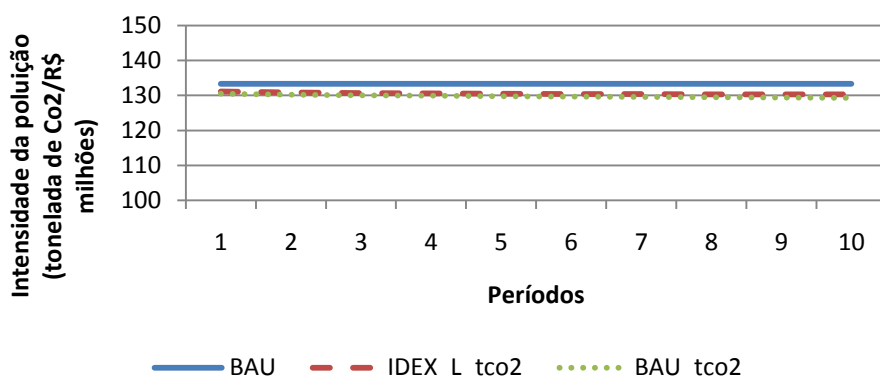


Gráfico 28 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_L_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

4.5 Investimentos na produção de energéticos “sujos” e adoção de um imposto ambiental (IDEX_S_tco₂)

Os Gráfico 29 e 30 mostram os efeitos, sobre o PIB real, da combinação de um aumento dos investimentos destinados a produção de energéticos “sujos”, com um imposto ambiental de R\$ 100 por tonelada de carbono. Através deles é possível observar uma aceleração do crescimento em relação ao estado estacionário e, principalmente em relação à simulação BAU_tco₂, demonstrando que: o aumento dos investimentos fora mais importante que a introdução de um novo imposto para o crescimento econômico. Para o último ano, o crescimento do PIB real foi de: 2,01% em relação à BAU; 3,67% em relação a BAU_tco₂; e 0,44% em relação a IDEX_L_tco₂. Este último resultado chama a atenção, pois implica em dizer que: assim como IDEX_S resultou em maior crescimento que IDEX_L, também IDEX_S_tco₂ gerou maior crescimento do que IDEX_L_tco₂. Com outras palavras, independente da presença de um imposto ambiental, a distribuição dos investimentos extras entre os energéticos “sujos” é mais pró-crescimento do que a distribuição dos mesmos recursos para a produção de energia “limpa”. O que indica a dependência da economia brasileira de combustíveis “sujos”.

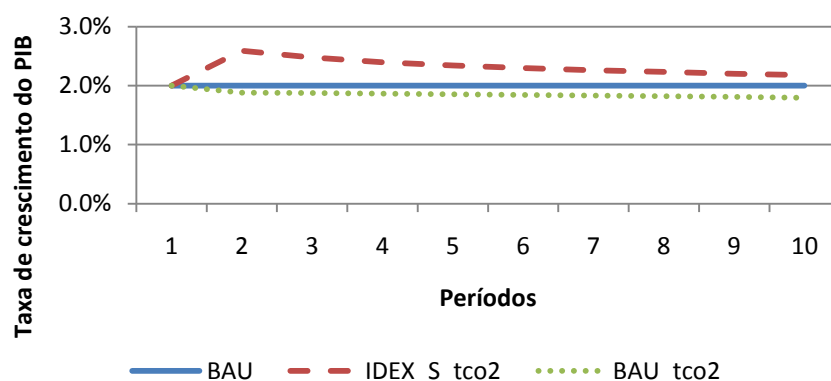


Gráfico 29 - Evolução da taxa de crescimento do PIB real. IDEX_S_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

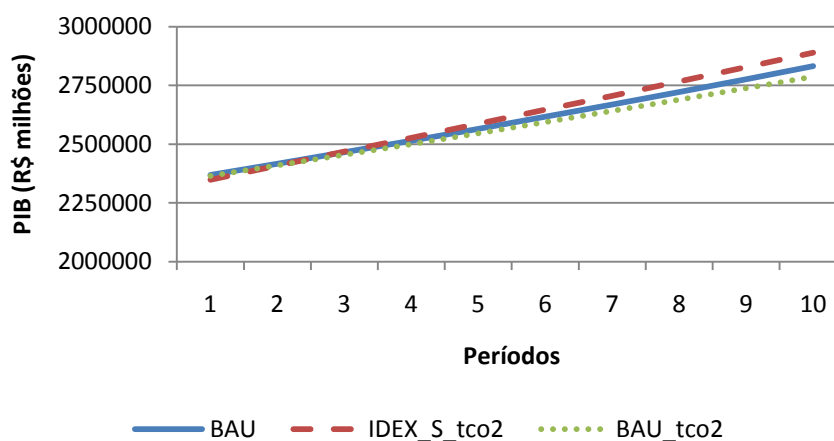


Gráfico 30 – Evolução do PIB real, em R\$ milhões. IDEX_S_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Quanto ao comportamento da VE, plotado no Gráfico 31, o resultado é ainda mais singular. Pois o gráfico mostra que o bem-estar da família representativa seria maior, a partir do terceiro ano, quando se combina um aumento dos investimentos para produção de energia “suja” com a introdução de um imposto ambiental, do que quando somente o aumento dos investimentos é aplicado. Isto se deveu ao efeito positivo do imposto ambiental sobre o consumo da família, a saber: o aumento da renda da família por conta da transferência das receitas com imposto ambiental; que se sobrepôs ao efeito negativo desse imposto de aumentar o preço dos insumos energéticos. Na medida em que, a maior capacidade de IDEX_S, em relação à IDEX_L, de gerar crescimento da produção de uma maior gama de produtos - reduzindo seus preços – se tornou mais proeminente com o passar dos anos, o total de receita com o imposto ambiental foi, de tal magnitude, que conseguiu aumentar o consumo total da família em 0,02% no terceiro período, comparando-se IDEX_S_tco2 com IDEX_S, que, por sua vez, continuou a crescer nos anos seguintes.

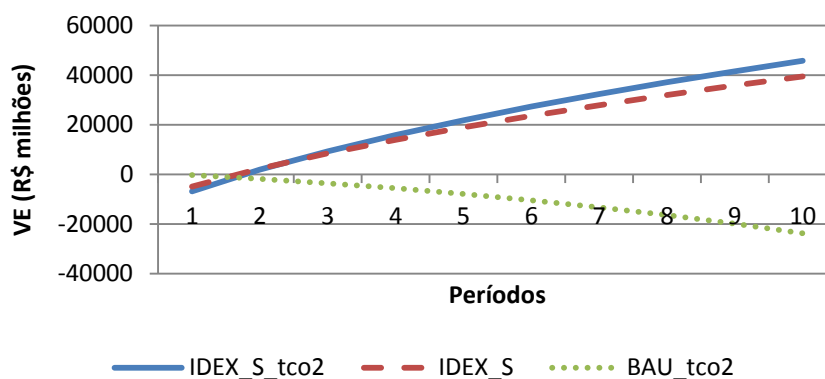


Gráfico 31 - Evolução da variação equivalente, em R\$ milhões. IDEX_S_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

A evolução das emissões de CO₂ para IDEX_S_tco₂, BAU e BAU_tco₂ encontram-se registradas no Gráfico 32. Esses dados mostram que no caso de IDEX_S_tco₂ o efeito que governou a evolução das emissões foi o do aumento dos investimentos – ao contrário do que ocorreria em IDEX_L_tco₂. As emissões acumuladas na simulação IDEX_S_tco₂ foram 2,90% maior do que em BAU e 6,66% maior do que em BAU_tco₂. Considerando-se apenas o último período, as emissões em IDEX_S_tco₂ foram 6,20% maior do que em BAU e 11,26% maior do que em BAU_tco₂.

Mais uma vez, o comportamento das emissões pode ser explicado pelo comportamento do consumo total de insumos energéticos, Gráfico 33. Através desse gráfico, observa-se que foi o aumento dos investimentos que governou o consumo de insumos energéticos no país, ou seja, esse consumo começou menor do que em BAU, mas cresceu a taxas maiores, ultrapassando o consumo verificado no estado estacionário já no terceiro período. Ao final do horizonte de tempo considerado, o aumento do consumo agregado de insumos energéticos foi de 7,50%. Logo, o aumento das emissões, em 2015, correspondeu a 82,67%, indicando uma matriz energética mais “ambientalmente amigável” do que a verificada na simulação IDEX_S.

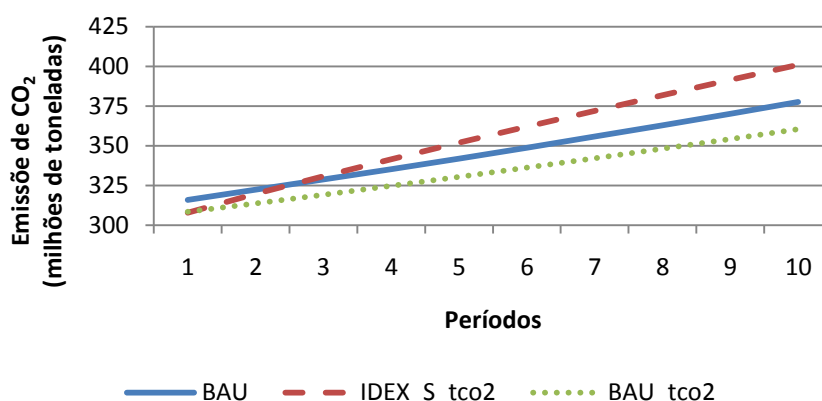


Gráfico 32 – Evolução das emissões totais de CO₂, em milhões de toneladas. IDEX_S_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

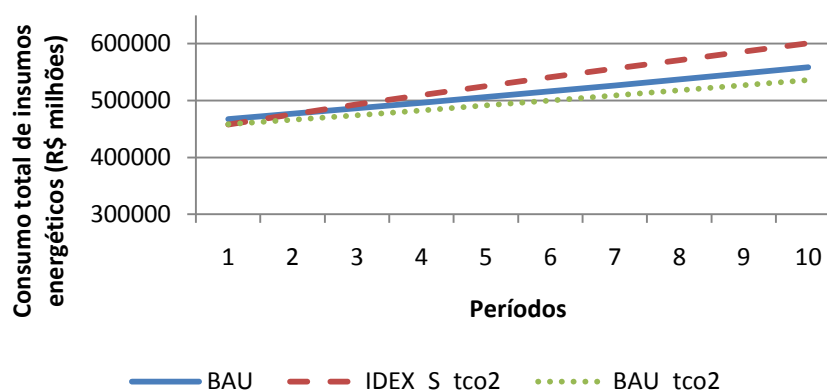


Gráfico 33 – Evolução do consumo real agregado de insumos energéticos, em R\$ milhões. IDEX_S_tco₂.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

A evolução da intensidade de poluição da economia brasileira, Gráfico 34, reforça a ineficiência do imposto ambiental de atingir seus objetivos, no presente contexto de um aumento concomitante dos investimentos destinado a produção de insumos energéticos “sujos”. Nesse gráfico, ainda que a intensidade da poluição tenha começado menor do que em BAU, ela piorou gradativamente, até que, para o último período, foi 3,83% maior do que BAU e 6,89% maior do que em BAU_tco₂.

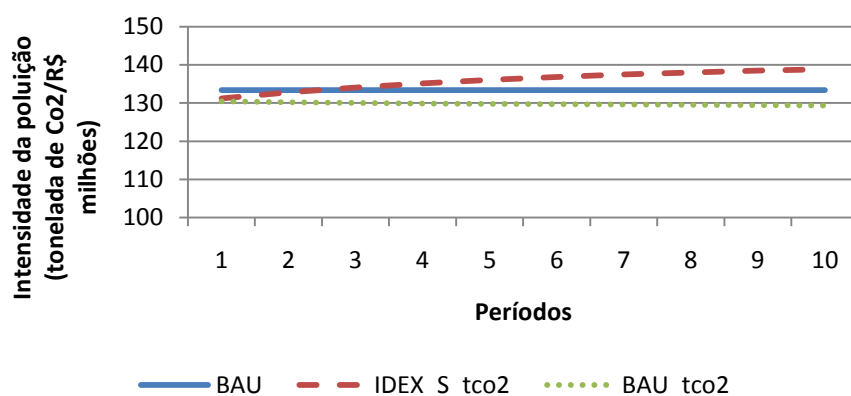


Gráfico 34 – Evolução da intensidade de poluição, em tonelada por R\$ milhões. IDEX_S_tco2.

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

5 Considerações finais

Esta dissertação teve como objetivo geral calcular as variações nas emissões de CO₂ e nas principais variáveis econômicas, resultantes de um aumento no montante de investimentos no setor energético brasileiro, a partir de uma Matriz de Contabilidade Social para o ano de 2006. Uma vez que, nos últimos anos, cresceu a preocupação dos agentes econômicos com as emissões de gases causadores do efeito estufa. Principalmente devido ao fato de que os efeitos nocivos dessas emissões têm se tornado cada vez mais tangíveis para a sociedade; ao passo em que diminuem as incertezas sobre a influência humana nesse processo.

Especificamente, os objetivos do estudo passavam por: encontrar o crescimento do estoque de capital e do PIB, antes e depois dos choques; determinar como seriam afetadas as emissões de CO₂; e analisar quais as implicações de bem-estar dos choques.

Tendo em vista a natureza quantitativa e o nível de desagregação dos objetivos que se desejavam alcançar, foi escolhida, como ferramenta metodológica, um MEGC dinâmico do tipo sequencial (ou recursivo), dividido em dez blocos de equações: preço, produção, renda e poupança, demanda, comércio exterior, equilíbrio, ambiental, bem estar, acumulação de capital e atualização das variáveis exógenas.

Usando um MEGC e os dados sumarizados na MCS 2006 para Brasil, foram simulados seis cenários para a economia brasileira: BAU, estado estacionário; IDEX_L, aumento dos investimentos para produtos energéticos “limpos”; IDEX_S, aumento dos investimentos para produtos energéticos “sujos”; BAU_tco2, imposição de um imposto de R\$ 100,00 por tonelada de CO₂; IDEX_L_tco2, aumento dos investimentos para produtos energéticos “limpos”, acompanhado da imposição do imposto ambiental; IDEX_S_tco2,

aumento dos investimentos para produtos energéticos “sujos”, acompanhado da adoção do imposto ambiental. Todos para um horizonte temporal de dez anos. Os resultados dessas simulações para as principais variáveis consideradas, para o último ano de cada simulação em relação à BAU são reportados na Tabela 9.

Tabela 9 – Principais resultados das simulações em relação à BAU para o último período.

Simulação	PIB (%)	VE (R\$ milhões)	CTEN	CO2 (%)	CO2/PIB (%)
IDEX_L	1,57	36532,62	5,66%	2,02	0,44
IDEX_S	2,05	39461,25	10,33%	9,43	7,23
BAU_tco2	-1,59	-23713,91	-4,01%	-4,55	-3,00
IDEX_L_tco2	1,08	32674,42	2,91%	-1,21	-2,26
IDEX_S_tco2	2,01	45721,96	7,50%	6,20	4,11

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

As análises dos resultados implicaram em diversas conclusões. Estas conclusões já apresentadas, e outras ainda novas, estão sumarizadas abaixo:

- O aumento dos investimentos destinados a produção de energia, seja através de energia “suja” seja através de energia “limpa”, resultou em aceleração do processo de acumulação de capital e, por conseguinte, em aceleração do crescimento econômico acima de BAU. O que está de acordo: com os resultados encontrados para a economia chinesa por Chuanyi, Xiliang e Jiankun (2009), utilizando o MEGC estático; e com as previsões teóricas dos modelos de crescimento neoclássicos, reportados em Romer (2006a, 2006b e 2006c). Contudo, o crescimento do capital e do PIB real foram mais substanciais e persistentes quando os investimentos foram destinados a produção de insumos energéticos “sujos”;
- A aceleração do crescimento traduziu-se em melhora do bem-estar da família representativa, medida pela variação equivalente. Mesmo quando, além do aumento dos investimentos, fora simulada também um imposto ambiental de R\$ 100 por tonelada de carbono;
- Nas simulações em que houve apenas aumento dos investimentos na produção de energia (IDEX_L e IDEX_S), as emissões de CO₂ e a intensidade dessas emissões (total das emissões dividido pelo PIB real) apresentaram aumento. Porém, esse aumento das emissões e da intensidade da poluição cresceu mais rapidamente, para IDEX_S.

- Quando o imposto ambiental fora simulado individualmente (BAU_tco₂) ele resultou em: desaceleração da acumulação de capital e do crescimento do PIB real, em relação a BAU; e elevada redução da variação equivalente. Mas, ao mesmo tempo, gerou reduções substanciais das emissões e da intensidade da poluição, que foram crescentes com o passar dos períodos. Tais resultados estão em conformidade com os de outros trabalhos que investigaram a adoção de impostos ambientais, a saber: Tourinho, Motta e Alves (2003); Al-Amin, Jaafar e Siwar (2008); Ferreira Filho e Rocha (2007); Feijó e Azevedo (2006); Sancho (2010); Wing (2009); e Wissema e Dellink (2007);
- Quando simulado em conjunto com um aumento dos investimentos destinados a produção de eletricidade e álcool (IDEX_L_tco₂), o imposto ambiental teve o efeito geral de reduzir os impactos daquele aumento dos investimentos, no que diz respeito a acumulação de capital, crescimento do PIB real e bem-estar. Contudo, foi capaz de reduzir as emissões e a intensidade da poluição. Ou seja, a combinação de um aumento de investimentos destinados a produção de eletricidade e álcool e de um imposto ambiental foi capaz de gerar, ao mesmo tempo, crescimento econômico acima do estado estacionário, redução das emissões de CO₂ e, por conseguinte, aumento da “eficiência ambiental” da economia brasileira.
- Quando simulado em conjunto com um aumento dos investimentos destinados a produção de energia “suja” (IDEX_S_tco₂), para a maioria das variáveis, o imposto ambiental também minimizou os impactos visualizados na simulação IDEX_S. Contudo, o bem-estar nessa simulação foi maior do que em IDEX_S, a partir do terceiro ano, pelo fato do imposto ambiental ter gerado uma receita, que transferida para a família, foi capaz de aumentar o consumo real agregado desta última acima do seu nível no estado estacionário.

Ainda que não invalidem as conclusões acima, a explicitação de algumas limitações acerca do exposto até então se faz pertinente, mesmo porque, tais limitações podem dar origem a novos e melhores estudos:

- O MEGC utilizado, ainda que tenha sido um modelo dinâmico, foi do tipo sequencial, em que os agentes econômicos têm, por suposição, expectativas míopes. De modo que, os resultados apresentados negligenciaram a teoria do crescimento ótimo, onde os agentes econômicos são capazes de prever, com perfeição, o futuro;

- A introdução de um progresso tecnológico, em especial um progresso tecnológico endógeno com possibilidade de introdução de novas tecnologias, poderia ter sido capaz de reverter à relação direta entre aumento dos investimentos e emissões de CO₂, mesmo sem a aplicação simultânea de um imposto ambiental;
- O uso de agentes representativos (família e empresa) é, possivelmente, a suposição mais forte do modelo, pois implica, por exemplo, que todas as pessoas na economia brasileira têm a mesma estrutura de preferências a qual pode ser representada por uma única função de utilidade. Além disso, essa suposição fez com que se deixassem de lado aspectos interessantes relacionados às emissões de CO₂, como, por exemplo, sua relação com a renda *per capita* no Brasil.
- As elasticidades utilizadas foram estimadas econometricamente por terceiros e seu uso foi feito sem maiores considerações sobre a sua adaptabilidade ao modelo; a não ser um teste de sensibilidade no Apêndice E;
- Outros testes de sensibilidade poderiam ter sido realizados, tais como: uso de MCSs para anos diferentes; e estruturas e sequências diferentes dos ninhos no bloco de produção (SANCHO, 2010);
- Não foram calculadas emissões negativas por sequestro de carbono, pelo fato de não ter sido considerado um fator terra nem um setor floresta (WISSEMA; DELLINK, 2007);
- Apesar da possibilidade de um imposto ambiental ser capaz de levar indivíduos a pobreza – ao encarecer uma ampla gama de produtos – e de um aumento dos investimentos em energia serem capazes de reduzir o número e a intensidade da pobreza, não foram calculados índices que pudessem validar, ou não, essas hipóteses;
- Ao supor um financiamento do aumento dos investimentos por meio da poupança externa, parece ser natural considerar, da forma mais minuciosa possível, a capacidade do Brasil de atrair esses investimentos; analisando, sobretudo, a atratividade do marco institucional brasileiro no que tange aos setores energéticos. Nos moldes do que foi realizado em Barry (2009), mas não nesta dissertação;
- O uso de um MEGC ambiental puramente de coeficientes fixos implicou a não consideração: dos efeitos das emissões de CO₂ sobre o bem-estar da família representativa e a produtividade dos fatores de produção; de como a escolha tecnológica poderia afetar as emissões;

- A suposição de que todos os mercados operavam em concorrência perfeita não é uma suposição realista para o caso dos setores energéticos no Brasil, em que uma estrutura oligopolística parece ser a dominante.

REFERÊNCIAS

- ABBINK, G. A.; BRABER, M. C.; COHEN S. I. A SAM-CGE demonstration model for Indonesia: static and dynamic specifications and experiments. International Economic Journal, v. 9, n. 3, p. 15-33, 1995.
- AL-AMIN, Abdul Quasen; JAAFAR, Abdul Hamid; SIWAR, Chamhuri. Macroeconomic effects of carbon dioxide emission reduction: a computable general equilibrium analysis for Malaysia. Munich Personal RePEc Archive, 2008. Disponível em: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/8667/2/MPRA_paper_8667.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2010.
- ANNABI, Nabil; COCKBURN, John; DECALUWÉ, Bernard. A sequential dynamic CGE model for poverty analysis. Working paper, CIRPEE, Laval University, 2004.
- ARAÚJO JÚNIOR, Ignácio Tavares de. Investimentos em infra-estrutura e efeitos sobre a pobreza e a distribuição de renda: uma análise de equilíbrio geral da economia brasileira. 2006. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Economia – PIMES)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- ARAÚJO JÚNIOR, Ignácio Tavares de; RAMOS, Francisco S.. O impacto do investimento em infra-estrutura sobre o crescimento econômico e a pobreza no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral computável. In: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA, 11, 2006, Fortaleza. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/eventos/forumbnb2006/docs/o_impacto_do_investimento.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2010.
- ARMINGTON, Paul S. A. A theory of demand for products distinguished by place of production. IMF staff papers, p.159-176, 1969.
- BARNERJEE, Onil; ALAVALAPATI, Janaki. A computable general equilibrium analysis of forest concessions in Brazil. Forest policy and economics, v. 11, p.244-252, 2009.
- BARRY, Michael P.. Foreign direct investment in Central Asia energy: a CGE model. Eurasian Journal of Business and Economics, v. 2, n.3, p.35-54, 2009.
- BHATTACHARYYA, Subhes C.. Applied general equilibrium models for energy studies: a survey. Energy Economics, v. 18, p. 145 – 164, 1996.
- CARNEIRO, Ana Cristina Guimarães. FIGUEIREDO, Nayana Ruth Manguiera; ARAÚJO JÚNIOR, Ignácio Tavares de. Utilização da matriz insumo-produto híbrida para avaliar os efeitos da substituição de óleo combustível por gás natural na matriz energética brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 27, 2009, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2009/inscricao.on/arquivos/000-81e6629846b69f1c742ff5b232a7b9cb.doc>>. Acesso em 16 jan. 2010.
- CLINCH, J.P.; DUNNE, L. Environmental tax reform: an assessment of social responses in Ireland. Energy Policy, v. 34, p. 950–959, 2006.

CHUANYI, Lie; XILIANG, Zhang; JIANKUN, He. A CGE analysis to study the impacts of energy investment on economic growth and carbon dioxide emission: a case of Shaanxi Province in Western China. Energy, v. 30, p. 1 – 9, 2009.

DUARTE, Rosa; MAINAR, Alfredo; SÁNCHEZ-CHÓLIZ. The impact of household consumption patterns on emissions in Spain. Energy Economics, v. 32, p. 176 – 185, 2010.

ESTACHE, A.; FOSTER, V.; WONDON, Q.. Accounting for poverty in infrastructure reform: learning from Latin America's experience. Washington, DC: World Bank Institute Development Studies, 2002.

FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza; ROCHA, Marcelo Theoto. 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. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/6/750.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2010.

FEIJÓ, Flavio Tosi; AZEVEDO, André Filipi Zago. Comércio e meio ambiente: políticas ambientais e competitividade no âmbito da ALCA. Economia Aplicada, São Paulo, v. 10, n.4, p. 561 – 587, 2006.

FEIJÓ, F. T. ; PORTO JÚNIOR, S. S. . Protocolo de Quioto e o Bem-estar econômico no Brasil - uma análise utilizando equilíbrio geral computável. Análise Econômica (UFRGS), v. 27, p. 127-154, 2009.

FOLHA ONLINE. Redução do percentual de álcool na gasolina beneficia vendas da Petrobras. 2006a. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u105434.shtml>>. Acesso em: 21 ago. 2010.

FOLHA ONLINE. Governo diz que há estoques para aumentar mistura do álcool. 2006b. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u112078.shtml>>. Acesso em: 21 ago. 2010.

GANGOPADHYAY, S.; RAMASWAMI, B.; WADHWA, W. Reducing subsidies on household fuels in India: how will it affect the poor?. Energy Policy, v. 33, p. 2326 – 2336, 2005.

GUILHOTO, Joaquim José Martins; LOPES, Ricardo Luis; da MOTTA, Ronaldo Seroa. Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira – 2002-2012. Rio de Janeiro: IPEA, 2002. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2002/td_0892.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2010.

HADDAD, Eduardo Amaral. Impactos das mudanças climáticas no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 38, 2010, Salvador. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2010/inscricao/arquivos/000-7b96492838d085e952fcb78337f4ce23.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

HANSON, Ronald; LAITNER, John A. “Skip”. An integrated analysis of policies that increase investments in advanced energy-efficient/low-carbon technologies. Energy Economics, v. 26, p. 739 – 755, 2004.

HERMANN, Jennifer. Auge e declínio do modelo de crescimento com endividamento: o II PND e a crise da dívida externa (1974 – 1984). In: GIAMBIAGI, Fábio. et al (org.). Economia brasileira contemporânea (1945 – 2004), 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tabelas de recursos e usos, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Sistema_de_Contas_Nacionais/Referencia_2007/TRU.zip>. Acesso em: 15 jan. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contas econômicas integradas, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Sistema_de_Contas_Nacionais/Referencia_2007/CEI.zip>. Acesso em: 15 jul. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

JACOBY, Henry D.; REILLY, John M.; MCFARLAND, James R.; PALISEV, Sergey. Technology and technical change in the MIT EPPA model. Energy Economics, v. 28, p. 610 – 631, 2006.

LIN, Boqiang; JIANG, Estimates of energy subsidies in China and impact of energy subsidy reform. Energy Economics. Accepted Manuscript, jul 2010.

MADLENER, R.; ALCOTT, B.. Energy rebound and economic growth: a review of the main issues and research needs. Energy, v. 34, p. 370 – 376, 2009.

MAS-COLELL, Andreu; WHINSTON, Michael D.; GREEN, Jerry. Classical demand theory. In: _____. Microeconomy theory, 1. ed. New York: Oxford University Press, 1995.

MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D.. Input-output analysis: foundations and extensions. New Jersey: Prentice-Hall, 1985).

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Coeficientes das matrizes de emissões. 2001. Disponível em: <http://ecen.com/matriz/eee24/coef_mat.htm>. Acesso em: 15 ago. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço energético nacional, 2007. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/ben2006_default.aspx>. Acesso em: 5 jul. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Destaques do novo Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, Brasília-DF, 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20100610_1.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2010.

OLIVEIRA, Maria Aparecida Silva; TEIXEIRA, Erly Cardoso. Aumento da oferta e redução de impostos nos serviços de infra-estrutura brasileira: uma abordagem de equilíbrio geral. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, v. 63, n.3, p. 183 – 207, jul. - set. 2009.

OTTO, Vincent M.; LÖSCHEL, Andres; REILLY, John. Directed technical change and differentiation of climate policy. Energy Economics, v. 30, p. 2855 – 2878, 2008.

PARIKH, Jyoti; PANDA, Manoj; GANESH-KUMAR, A.; SINGH, Vinay. CO₂ emission structure of Indian economy. Energy, v.34, p. 1024 – 1031, 2009.

ROBINSON, Sherman. Macro Models and Multipliers: Leontief, Stone, Keynes, and CGE Models. In: ALAIN, de Janvry; KANBUR, Ravi (eds.). Poverty, Inequality and Development: Essays in Honor of Erik Thorbecke. New York: Springer Science, 2006.

ROBINSON, Sherman; CATTANEO, Andrea; EL-SAID, Mostaz. Updating and estimating a social accounting matrix using cross entropy methods. TMD discussion paper n. 58, ago. 2000.

ROBINSON, Sherman; YÚNEZ-NAUDE, Antonio.; HINOJOSA-OJEDA, Raúl; LEWIS, Jeffrey D.; DEVARAJAN, Shantayanan. From stylized to applied models: building multisector CGE models for policy analysis. North American Journal of Economics and Finance, v. 10, p. 5-38, 1999.

ROMER, David. The Solow growth model. In: _____. Advanced macroeconomics, 3. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2006a.

ROMER, David. Infinite-horizon and overlapping-generations models. In: _____. Advanced macroeconomics, 3. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2006b.

ROMER, David. New growth theory. In: _____. Advanced macroeconomics, 3. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2006c.

ROMER, David. Traditional Keynesian theories of fluctuations. In: _____. Advanced macroeconomics, 3. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2006d.

SANCHO, Ferran. Double dividend effectiveness of energy tax policies and the elasticity of substitution. Energy Policy, v.10, p.1 – 7, 2010.

SHOVEN, John B.; WHALLEY, John. Using applied general equilibrium models. In: _____. Applying general equilibrium. Cambridge University Press, 1992.

SOUZA, Frederico Hartmann. Liberalização comercial, salários reais e emprego: uma aplicação do modelo de fatores específicos para o Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 38, 2010, Salvador. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2010/inscricao/arquivos/017-d91e6422b5e3253d918d91c0349b8570.docx> < >. Acesso em: 10 dez. 2010.

TRAINER, Ted. Can renewable etc. solve the greenhouse problem? The negative case. Energy Policy, v. 38, p. 4107 – 4114, 2010.

TOURINHO, Octávio Augusto Fontes; da MOTTA, Ronaldo Seroa; ALVES, Yan Le Boullec. Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2010.

TOURINHO, Octávio Augusto Fontes; KUME, Honório; PEDROSO, Ana Cristina de Sousa. Elasticidades de Armington para o Brasil: 1986-2002. Revista brasileira de economia. Rio de Janeiro, v. 61, n.2, p. 245 – 367, jun. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-71402007000200006&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 jan. 2010.

TOURINHO, Octávio Augusto Fontes; da SILVA, Napoleão Luiz Costa; ALVES, Yan Le Boullec. Uma matriz de contabilidade social para o Brasil em 2003. Rio de Janeiro: IPEA, 2006. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/publicacoes/tds/td_1242.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2010.

VARIAN, Hal R. Exchange. In: _____. Microeconomic analysis, 3.ed. New York: W.W. Norton & Company, 1992a.

VARIAN, Hal R. Externalities. In: _____. Microeconomic analysis, 3.ed. New York: W.W. Norton & Company, 1992b.

VIANNA, Sérgio Besserman; VILLELA, André. O pós guerra (1945 – 1955). In: GIAMBIAGI, Fábio. et al (org.). Economia brasileira contemporânea (1945 – 2004), 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

VILLELA, André. Dos ‘anos dourados de JK’ a crise não resolvida (1956 – 1963). In: GIAMBIAGI, Fábio. et al (org.). Economia brasileira contemporânea (1945 – 2004), 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

WERF, Edwin van der. Production functions for climate policy modeling: an empirical analysis. Energy Economics, v. 30, p.2964 – 2978, 2008.

WING, Ian Sue. Computable general equilibrium models for the analysis of energy and climate policies. In: EVANS, Joane; HUNT, Lester C. (Org.) International Handbook on the Economics of Energy. Edward Elgar Publishing, 2009.

WING. Ian Sue. Representing induced technological change in models for climate polyci analysis. Energy Economics, v. 28, p. 539 – 562, 2006.

WISSEMA, Wiepke; DELLINK, Rob. AGE analysis of the impact of carbon tax on the Irish economy. Ecological Economics, v. 61, p. 671 – 683, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Lista de variáveis

$P_{i,t}^M$: Preço do bem importado

E_t : Taxa de câmbio nominal

$P_{i,t}^E$: Preço do bem exportado

$P_{i,t}^D$: Preço do bem demandado domesticamente

$P_{i,t}$: Preço do bem

$P_{i,t}^{va}$: Preço do valor adicionado

$P_{i,t}^C$: Preço ao consumidor

$R_{i,t}$: Preço do capital

$PINDEX_t$: índice geral de preços

$VA_{i,t}$: Valor adicionado (Volume)

$L_{i,t}$: Quantidade de trabalho (Volume)

$K_{i,t}$: Quantidade de capital (Volume)

$CIJ_{ij,t}$: Consumo intermediário do setor i do produto do setor j (Volume)

$X_{i,t}^S$: Produção setorial total (Volume)

$CI_{i,t}$: Consumo intermediário do setor i (Volume)

$L_{i,t}^D$: Demanda por trabalho setorial (Volume)

W_t : Salário

$Y_{M,t}$: Renda da família (Valor)

DIV_t : Dividendos (Valor)

RMK_t : Receita das famílias com capital (Valor)

$YD_{M,t}$: Renda disponível da família (Valor)

$S_{M,t}$: Poupança da família (Valor)

RE_t : Receita da empresa com o capital (Valor)

$Y_{E,t}$: Receita total da empresa (Valor)

$S_{E,t}$: Poupança da empresa (Valor)

$Y_{G,t}$: Receita total do governo (Valor)

$TXS_{i,t}$: Impostos indiretos (Valor)

$TXM_{i,t}$: Impostos sobre importação (Valor)

$TXE_{i,t}$: Impostos sobre exportação (Valor)

$S_{G,t}$: Poupança do governo (Valor)

$CT_{G,t}$: Consumo total do governo (Valor)
 $TXT_{i,t}$: Margem de transporte (Valor)
 $TXC_{i,t}$: Margem de Comércio (Valor)
 $EX_{i,t}$: Exportações (Volume)
 $D_{i,t}$: Demanda por bens domésticos (Volume)
 $Q_{i,t}$: Bem composto por bens domésticos e importados (Volume)
 M_i : Bens importados (Volume)
 $CT_{M,t}$: Consumo total da família (Valor)
 $CM_{i,t}$: Consumo setorial da família (Volume)
 CG_i : Consumo setorial do governo (Volume)
 INV, t_i : Demanda setorial por bens de investimento (Volume)
 IT_t : Investimento total (Valor)
 $DI_{i,t}$: Demanda intermediária setorial (Volume)
 L_t^S : Oferta total de trabalho (Volume)
 $CO_{2,en,t}$: Emissões de CO₂ setoriais (Volume)
 $CO_{2,t}$: Emissões de CO₂ totais (Volume)
 VE_t : Variação equivalente (Valor)
 U_t^{choque} : Utilidade da família representativa na presença de choques
 U_t^{BAU} : Utilidade da família representativa na trajetória de equilíbrio de referência
 $ID_{i,t}$: Investimento setorial pelo destino (Volume)
 PK_t : Índice de preços para os bens de investimento
 $\Theta_{i,t}$: Proporção dos investimentos totais destinada ao setor i
 $PR_{i,t}$: Taxa de lucro setorial
 APR_t : Taxa de lucro média
 $B_{i,t}^k$: Participação de cada bem no investimento total
 $TXCO_{2,t}$: Receita total com o imposto ambiental
 tm_i : Taxa do imposto sobre importações
 $pwm_{i,t}$: Preço internacional do bem importado
 $pwe_{i,t}$: Preço internacional do bem exportado
 te_i : Taxa do imposto sobre exportações
 tx_i : Taxa dos impostos indiretos
 tt_i : Margem de transporte

tc_i : Margem de comércio

β_i^X : Participação de cada produto na produção total

a_i : Parâmetro de descolamento da função de produção

δ_i^X : Proporção do trabalho no valor adicionado

ρ_i^X : Parâmetro de substituição da função de produção CES

σ_i^X : Elasticidade de substituição da função de produção CES

trm_t : Transferências do resto do mundo para a família (Valor)

tgm_t : Transferências do governo para a família (Valor)

trl_t : Transferências do resto do mundo para o fator trabalho (Valor)

tlr_t : Transferências do fator trabalho para o resto do mundo (Valor)

ty : Taxa do imposto de renda sobre a família

pms : Propensão a poupar da família

λ : Parcela da receita do capital paga as famílias

tdv : Parcela da receita das empresas com capital remetida as famílias

tme_t : Transferências das famílias para as empresas (Valor)

ter_t : Transferências da empresa para o resto do mundo (Valor)

tk : Taxa de imposto sobre os rendimentos com capital da empresa

tge_t : Transferências do governo para a empresa (Valor)

tgr_t : Transferência do governo para o resto do mundo (Valor)

β_i^C : Participação do produto no consumo total da família

β_i^G : Participação do produto no consumo total do governo

α_{ij} : Coeficiente de insumo-produto

b_i^T : Parâmetro de deslocamento da função de Transformação

δ_i^T : Proporção da produção do produto exportada

ρ_i^T : Parâmetro de transformação da função CET

σ_i^T : Elasticidade de transformação da função CET

b_i^S : Parâmetro de deslocamento da função de Armington

δ_i^S : Proporção da demanda total importada

ρ_i^S : Parâmetro de substituição da função de Armington

σ_i^S : Elasticidade de substituição da função de Armington

γ_{en} : Fator de emissão de CO₂ (em milhões de toneladas) por demanda de cada energético

δ_i : Taxa de depreciação setorial do capital

$\theta_{i,0}$: Proporção dos investimentos totais destinada ao setor i no período inicial

g : Taxa de crescimento da população

$tco_{2,en}$: Alíquota do imposto ambiental por produto energético

APÊNDICE B – Calibração da taxa de depreciação no estado estacionário

Substituindo a equação (44) em (43) tem-se que:

$$K_{i,t+1} = K_{i,t} * (1 - \delta_i) + \frac{\theta_{i,t} * IT_{i,t}}{PINDEX_t * PK_t} \quad (B.1)$$

No tempo $t = 0$, ou seja, no equilíbrio de referência, tanto $PINDEX_t$ quanto PK_t são iguais a unidade, logo podem ser desconsiderados, pois a taxa de depreciação é constante no tempo. Rearranjando o restante de (B.1) chega-se a seguinte equação:

$$\delta_i * K_{i,1} = \theta_{i,1} * IT_{i,1} - \Delta K_{i,t} \quad (B.2)$$

Sabe-se que no estado estacionário que a taxa de crescimento de todas as variáveis devem ser iguais a taxa de crescimento da população, no caso do estoque de capital setorial, isto implica que:

$$\frac{\Delta K_{i,t}}{K_{i,0}} = g \quad (B.3)$$

Finalmente, substituindo (B.3) em (B.2) e rearmando os termos tem-se que:

$$\delta_i = \frac{\theta_{i,0} * IT_0}{K_{i,0}} - g \quad (45)$$

APÊNDICE C – Estoque de capital

Tabela C.1 – Estoque de capital por produto (R\$ milhões). 2006.

Produto	Estoque de capital
Agropecuária	320852,269
Indústria extrativa	63827,685
P&G	187564,184
Carvão Mineral	827,540
Indústria de Transformação	851027,585
GLP	3589,686
Gasolina	1749,708
Gasoálcool	2124,622
OC	773,050
OD	2931,623
Outros secundários	3522,127
Álcool	32642,057
Máquinas	36661,810
Eletricidade	260617,939
SIUP	65154,485
Construção civil	363812,685
Comércio	650890,798
Transporte	300928,154
Serviços de informação	270075,568
Intermediação financeira	470327,991
Aluguéis	960322,567
Outros serviços	634759,657
Administração pública	186830,568
Total	567181,357

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE (2006a e 2006b) e apontamentos de Araújo Júnior (2006) e Abbink, Braber e Cohen (1995).

APÊNDICE D – MCS 2006

Tabela D.1 – MCS 2006 (R\$ Milhões).

Produtos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23
P1	17736	38	0	0	117888	0	0	0	0	0	0	7793	48	12	3	19	202	2	0	0	188	2525	439
P2	1476	3964	0	53	22431	0	68	3	1	5	5	1	447	0	0	2702	12	0	0	0	33	34	39
P3	0	1	3468	0	171	2579	12618	19392	7056	26758	13523	0	2	4560	1140	0	0	0	0	0	200	2	0
P4	0	582	0	6	3825	1	5	6	2	9	5	0	5	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0
P5	45498	4949	7971	119	491172	238	680	749	273	1034	587	1930	32792	6291	1573	63284	17119	17916	11768	8613	5225	94022	28491
P6	282	1	0	0	880	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	7	0	0	0	12	569	88
P7	0	0	116	0	28	812	4059	6238	2270	8607	4350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0
P8	457	4	1	0	2298	6	30	46	17	63	41	22	95	1008	252	260	2877	2079	115	550	359	2116	5156
P9	213	1332	33	9	4966	1	7	0	0	0	0	83	197	630	158	2	3	761	3	0	11	0	0
P10	7356	1724	935	45	7059	20	19	27	10	37	31	114	270	1674	419	3116	3609	28357	231	274	294	2060	749
P11	528	225	1	2	22365	6	230	49	18	67	37	2	811	2	1	852	602	6974	1	0	105	205	343
P12	170	80	22	2	3194	155	777	1189	433	1641	840	1	4	6	2	13	3111	374	4	0	299	214	885
P13	0	1788	2769	32	17671	80	171	237	86	327	167	264	3509	166	41	2554	9	78	575	0	304	1100	94
P14	1152	1264	2115	23	31355	75	224	291	106	402	224	191	1103	21781	5445	418	6679	2510	1842	1512	1258	10741	8372
P15	288	316	529	6	7839	19	56	73	27	101	56	48	276	5445	1361	105	1670	628	460	378	315	2685	2093
P16	3	3	1520	0	1593	31	21	31	11	43	23	4	36	49	12	3651	328	81	663	1156	4761	2841	11553
P17	0	15	0	0	3699	0	0	0	0	0	18	11	254	0	0	51	5838	19	7	0	32	182	0
P18	2579	3852	7377	51	33459	215	443	650	237	897	503	271	1550	1735	434	1076	15662	15522	3241	2120	1007	7815	3191
P19	649	1388	2527	14	14401	75	160	233	85	322	180	48	1546	1645	411	504	5626	2552	29500	15535	1956	35176	22645
P20	1713	1812	1248	13	30787	30	79	64	23	89	72	316	3010	2112	528	1883	7924	5109	4374	30151	1308	6563	31530
P21	212	371	4904	6	6722	112	133	192	70	265	165	76	459	427	107	580	10136	1996	4868	1557	1312	8399	8404
P22	74	1698	6901	13	29588	219	499	747	272	1031	583	237	656	5709	1427	3756	20291	13026	16217	17878	5018	31820	36338
P23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(continuação)

Produtos	EOB	L	HH	Empresas	MC	MT	G	ROW	CC	TOTAL
P1			42897				0	22076	11873	223739
P2			424				0	22612	1725	56038
P3			0				0	15077	1327	107874
P4			0				0	0	-5	4445
P5			546145				0	207847	150882	1747169
P6			12755				0	20	327	14951
P7			0				0	2597	363	29497
P8			40790				0	0	0	58639
P9			0				0	6661	-340	14731
P10			3580				0	1083	538	63630
P11			1762				0	2878	-137	37929
P12			7470				0	3481	-490	23874
P13			2822				0	15729	66210	116784
P14			44574				0	0	0	143658
P15			11143				0	0	0	35914
P16			0				0	943	157385	186743
P17			0				0	2101	0	12228
P18			70526				0	5353	0	179766
P19			52378				0	854	0	190412
P20			107447				1663	1955	0	241805
P21			168781				0	2567	5743	228563
P22			315412				12971	26623	1626	550630
P23			0				460139	0	0	460139

(continuação)

Produtos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23
HH																							
Empresas																							
MC	22894	2976	0	0	242402	5622	0	20033	2178	5724	4420	2900	13872	0	0	0	-323021	0	0	0	0	0	0
MT	2508	3609	63	93	23691	699	0	251	389	1051	715	170	3542	0	0	0	0	-36781	0	0	0	0	0
G	19835	3325	3186	59	200864	2112	8511	7264	419	9758	2193	2028	15769	29595	7399	10988	28811	20536	40192	28557	4044	57021	58163
ROW	5302	6173	22567	3668	146185	1032	26	0	432	4196	7947	1	19606	2107	527	220	2100	5991	5607	3019	13173	21800	0
CC																							
TOTAL	223739	56038	107874	4445	1747169	14951	29497	58639	14731	63630	37929	23874	116784	143658	35914	186743	12228	179766	190412	241805	228563	550630	460139

(continuação)

Produtos	EOB	L	HH	Empresas	MC	MT	G	ROW	CC	TOTAL
P1			42897				0	22076	11873	223739
P2			424				0	22612	1725	56038
P3			0				0	15077	1327	107874
P4			0				0	0	-5	4445
P5			546145				0	207847	150882	1747169
P6			12755				0	20	327	14951
P7			0				0	2597	363	29497
P8			40790				0	0	0	58639
P9			0				0	6661	-340	14731
P10			3580				0	1083	538	63630
P11			1762				0	2878	-137	37929
P12			7470				0	3481	-490	23874
P13			2822				0	15729	66210	116784
P14			44574				0	0	0	143658
P15			11143				0	0	0	35914
P16			0				0	943	157385	186743
P17			0				0	2101	0	12228
P18			70526				0	5353	0	179766
P19			52378				0	854	0	190412
P20			107447				1663	1955	0	241805
P21			168781				0	2567	5743	228563
P22			315412				12971	26623	1626	550630
P23			0				460139	0	0	460139

(continuação)

	EOB	L	HH	Empresas	MC	MT	G	ROW	CC	TOTAL
EOB										1037917
L								864		771802
HH	372762	771327		125476			403123	9366		1682054
Empresas	665155		59363							724518
MC										0
MT										0
G			81950	138740						781319
ROW		475		92199			16448			380800
CC			111835	368103			- 113024	30113		397027
TOTAL	1037917	771802	1682054	724518	0	0	781319	380800	397027	10504595

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE (2006a e 2006b) e apontamentos de Tourinho, da Silva e Alves (2006).

Tabela D.2 – Legenda da MCS 2006.

Produtos	Descrição dos produtos
P1	Agropecuária
P2	Indústria extrativa
P3	P&G
P4	Carvão Mineral
P5	Indústria de Transformação
P6	GLP
P7	Gasolina automotiva
P8	Gasoálcool
P9	OC
P10	OD
P11	Outros secundários
P12	Álcool
P13	Máquinas
P14	Eletricidade
P15	SIUP
P16	Construção civil
P17	Comércio
P18	Transporte
P19	Serviços de informação
P20	Intermediação financeira
P21	Aluguéis
P22	Outros serviços
P23	Administração pública

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE (2006a e 2006b).

APÊNDICE E – Testes de sensibilidade

Tabela E.1 – Variações das principais variáveis do modelo, em percentual, utilizando elasticidades 20% maiores.

Simulação	Período	PIB	KT	VE	CO2T
BAU_tco2	Curto prazo	0,00	0,00	-5,90	-0,11
	Médio prazo	0,00	-0,01	-3,54	-0,06
	Longo prazo	0,00	-0,02	-3,09	-0,03
IDEX_L	Curto prazo	0,10	0,00	-111,38	-0,01
	Médio prazo	0,05	-0,01	2,89	-0,02
	Longo prazo	0,00	-0,02	-2,10	-0,05
IDEX_S	Curto prazo	0,09	0,00	-99,12	-0,08
	Médio prazo	0,03	-0,01	2,59	-0,25
	Longo prazo	0,00	-0,02	-1,27	-0,24
IDEX_L_tco2	Curto prazo	0,15	0,00	-57,17	-0,12
	Médio prazo	0,11	-0,02	11,35	-0,07
	Longo prazo	0,06	-0,03	1,14	-0,08
IDEX_S_tco2	Curto prazo	0,13	0,00	-72,54	-0,18
	Médio prazo	0,06	-0,02	5,37	-0,29
	Longo prazo	0,02	-0,03	0,40	-0,24

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).

Tabela E.1 – Variações das principais variáveis do modelo, em percentual, utilizando elasticidades 20% menores.

Simulação	Período	PIB	KT	VE	CO2T
BAU_tco2	Curto prazo	0,00	0,00	-3,74	0,13
	Médio prazo	0,00	0,01	2,67	0,06
	Longo prazo	0,00	0,02	3,52	0,03
IDEX_L	Curto prazo	-0,12	0,00	130,52	0,01
	Médio prazo	-0,06	0,02	-3,53	0,02
	Longo prazo	0,00	0,02	2,66	0,05
IDEX_S	Curto prazo	-0,11	0,00	110,13	0,11
	Médio prazo	-0,02	0,02	-1,61	0,29
	Longo prazo	0,01	0,02	2,24	0,21
IDEX_L_tco2	Curto prazo	-0,18	0,00	62,24	0,14
	Médio prazo	-0,13	0,02	-12,28	0,07
	Longo prazo	-0,07	0,04	-0,60	0,08
IDEX_S_tco2	Curto prazo	-0,15	0,00	75,85	0,23
	Médio prazo	-0,05	0,02	-4,46	0,32
	Longo prazo	-0,01	0,03	0,27	0,21

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Ministério de Minas e Energia (2007), IPCC (2006) e IBGE (2006a e 2006b).