

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

**ALCA E PROTOCOLO DE QUIOTO – UMA AVALIAÇÃO  
INTEGRADA UTILIZANDO O GTAP-E**

Flavio Tosi Feijó

Porto Alegre  
2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

**ALCA E PROTOCOLO DE QUIOTO – UMA AVALIAÇÃO  
INTEGRADA UTILIZANDO O GTAP-E**

Flavio Tosi Feijó

Orientador: Prof. Dr. Sabino da Silva Porto Jr.  
Co-Orientador: Prof. Dr. André Felipe Zago de  
Azevedo

Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Economia da Faculdade  
de Ciências Econômicas da  
Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul como requisito parcial de obtenção  
do título de Doutor em Economia.

Porto Alegre  
2005

## FICHA CATALOGRÁFICA

F297

Feijó, Flavio Tosi

Alca e Protocolo de Quioto – Uma avaliação integrada utilizando o GTAP-E/Flavio Tosi Feijó.-Porto Alegre, 2005.

173 p.

Tese – Doutorado. UFRGS/FCE/PPGE

1. Comércio e meio ambiente. 2. Protocolo de Quioto. 3. Alca. 4. Emissões de CO<sub>2</sub>.

CDV

Dedico este trabalho aos meus pais e irmão.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores e funcionários do PPGE pelo apoio e dedicação mostrados durante todo o período do curso.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto que proporcionou a aquisição da base de dados do GTAP e a CAPES pela bolsa de estudo.

Aos amigos e colegas da FURG pelo apoio e amizade, em especial ao Sérgio, Gilberto Russomano, Dornelles, Patrícia, Lessa, Fátima, Carla, Cassius, Chicão, André, Eni e Kátia (matemática).

Às amizades feitas em Porto Alegre que foram e ainda são de fundamental importância para o cumprimento dessa jornada. Em especial à Izete, Paulo Jacinto e Carla, Alexandre Porsse e Melody, Lideral, Luis, Sidney e Cassiane, Ângelo e Chistiane. Àqueles que foram para outras cidades, mas que permanecem na memória como Une, Roni, Viviane, Túlio, João, Arnildo, Danilo e Isabela, Shikida e Filipe. À turma do Sabino e Aladya pelas reuniões animadas.

Ao Sabino Porto Jr. que, muito mais do que um simples orientador e professor, foi um amigo.

Ao André Azevedo (co-orientador) pela paciência e disposição mostrada em me ajudar na confecção desse trabalho.

Ao Edson Domingues pela ajuda na hora certa.

Aos professores Marcelo Portugal e Eduardo Pontual pela oportunidade.

À pessoa que esteve ao meu lado me apoiando, incentivando e me dando carinho durante os melhores e piores momentos de quase toda essa jornada. Essa pessoa que eu amo muito e chama-se Larissa é a grande responsável pelo meu sucesso. A ela vai o meu agradecimento especial.

Ao pessoal de BH (Bruno, Salma, Marcela, Germana, Keller, Flô, tias e tios emprestados) pela acolhida.

À minha família pelo apoio e carinho dispensados durante a minha ausência e que de uma forma ou outra contribuíram para o meu sucesso.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1 COMÉRCIO E MEIO AMBIENTE .....</b>	<b>17</b>
1.1 Meio Ambiente e Comércio Internacional – uma breve revisão.....	17
1.1.1 Abertura comercial e qualidade ambiental: visões alternativas.....	18
1.1.2 Comércio internacional e o aquecimento global.....	20
1.2 Modelos utilizados para avaliação do tema comércio e meio ambiente.....	30
1.3 Modelos de equilíbrio geral e o meio ambiente.....	37
1.3.1 Efeitos ambientais da abertura comercial.....	38
1.3.2 Impactos da política ambiental sobre a competitividade.....	42
1.3.3 Modelos de Equilíbrio Geral Computável aplicados ao comércio ambiente.....	43
1.4 Considerações finais.....	53
<b>2 DESCRIÇÃO DO MODELO E BASE DE DADOS.....</b>	<b>55</b>
2.1 Uma visão geral do GTAP.....	55
2.1.1 Estrutura de produção.....	65
2.1.2 Estrutura de consumo.....	68
2.2 O GTAP aplicado ao meio-ambiente.....	70
2.2.1 Estrutura de produção.....	70
2.2.2 Estrutura de consumo.....	75
2.2.3 Emissões de CO <sub>2</sub> .....	80

2.2.4 Comércio de emissões.....	81
2.3 Base de dados.....	82
2.3.1 Dados de energia.....	82
2.3.2 Dados de emissões de CO <sub>2</sub> .....	87
2.4 Agregação.....	90
2.5 Considerações finais.....	94

### **3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS E RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES..... 95**

3.1 Cenários com a ALCA .....	96
3.1.1 Alca – Eliminação da tarifas de importação e exportação.....	96
3.1.2 Alca1- Alca com Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões do modelo .....	107
3.2 Cenários exclusivos com o Protocolo de Quioto .....	120
3.3 Sumário dos resultados para o Brasil.....	130
3.4 Análise de sensibilidade .....	137
3.5 Considerações finais.....	144

### **CONCLUSÃO.....145**

### **BIBLIOGRAFIA.....149**

### **ANEXOS.....159**

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1.1 Aplicações recentes de modelos EGC ao comércio e meio ambiente.....	46
Quadro 2.1 Matriz de contabilidade social estilizada para uma região.....	58
Tabela 2.1 Parâmetros utilizados para calibrar o modelo GTAP-E (produção).....	75
Tabela 2.2 Exemplos de elasticidade de substituição e renda (consumo).....	79
Quadro 2.2 Fatores de conversão para toneladas de petróleo equivalente.....	85
Tabela 2.3 Valores dos coeficientes da equação do cálculo das emissões .....	89
Quadro 2.3 Agregação utilizada.....	93
Tabela 3.1 Tarifas de importação média incidente entre os membros da ALCA.....	97
Tabela 3.2 Variação do bem estar e sua decomposição (Alca).....	99
Tabela 3.3 Decomposição do bem-estar no Brasil por setor (Alca).....	100
Tabela 3.4 Variação percentual no volume das Exportações e Importações Brasileiras (Alca) .....	101
Tabela 3.5 Variação percentual do produto total e por setor na ALCA (Alca).....	104
Tabela 3.6 Variação percentual nas emissões totais e por <i>commodity</i> de energia (Alca).....	106
Tabela 3.7 Variação do bem-estar e sua decomposição (Alca1).....	110
Tabela 3.8 Decomposição do bem-estar no Brasil por setor (Alca1).....	111
Tabela 3.9 Fluxo monetário internacional no cenário de comércio de emissões (Alca1).....	112
Tabela 3.10 Variação percentual do produto total e por setor na ALCA (Alca1).....	113
Tabela 3.11 Demanda no interior dos “ninhos” da estrutura produtiva no Brasil (Alca1).....	115
Tabela 3.12 Variação percentual nas emissões totais e por <i>commodity</i> de energia. (Alca1).....	116
Tabela 3.13 Matriz de Contabilidade Social do Brasil – Simulação Alca1.....	118
Tabela 3.14 Origem das receitas da Agência de Carbono no Brasil (Alca1).....	119
Quadro 3.1 Sumário dos choques nos cenários exclusivos com o Protocolo de Quioto.....	121
Tabela 3.15 Variação do bem-estar econômico (EV).....	124
Tabela 3.16 Imposto (real) em US\$ de 1997 por tonelada de carbono.....	125
Tabela 3.17 Variação % do PIB (índice de quantidade de PIB – <i>qgdp</i> ).....	126
Tabela 3.18 Crescimento de emissões de CO2.....	127
Tabela 3.19 Taxas de escapes de carbono.....	128
Tabela 3.20 Variação % do preço do composto energia – Brasil e RALCA.....	130
Tabela 3.21 Impactos macroeconômicos.....	131
Tabela 3.22 Decomposição do bem-estar no Brasil por cenários.....	132
Tabela 3.23 Efeitos alocativos por setor e cenários no Brasil.....	133
Tabela 3.24 Efeito nos termos de troca por setor e cenários no Brasil.....	134
Tabela 3.25 Preço, quantidade demandada, e emissões por <i>commodity</i> no Brasil.....	136
Tabela 3.26 Análise de sensibilidade para o Brasil – Cenário Alca1.....	140

Tabela 3.27 Análise de sensibilidade para o Brasil – Cenário PQ3.....	141
Tabela 3.28 Análise de sensibilidade da taxa de escape de carbono na ALCA – Cenário Alca5.....	143
Quadro A.1 Conjuntos básicos do modelo.....	160
Quadro A.2 Conjuntos adicionais relacionados à emissão de carbono e setores de energia.....	161
Quadro A.3 Conjuntos adicionais relacionados ao “ninho-energia” de produção.....	162
Quadro A.4 Conjuntos adicionais relacionados ao comércio de emissões.....	162
Quadro A.5 Variáveis associadas com o uso de energia (toe), emissões de carbono (toneladas de C), comércio de emissões e impostos sobre carbono.....	163
Quadro A.6 Variáveis dummies relacionadas ao “ninho-energia” e comércio de emissões.....	167
Quadro A.7 Equações da estrutura de produção relacionadas ao “ninho de energia”.....	168
Quadro A.8 Equações relacionadas às emissões de CO2.....	169
Quadro A.9 Equações que calculam a variação do preço médio da energia.....	170
Quadro A.10 Equações que calculam a base de cálculo do imposto dos setores de energia que produzem carbono.....	171
Quadro A.11 Equações que calculam a “potência” do imposto sobre carbono.....	172
Quadro A.12 Equações da Matriz de Contabilidade Social relacionadas à agência de carbono.....	173
Quadro A.13 Coeficientes que calculam o imposto sobre carbono originado pela demanda doméstica.....	174
Quadro A.14 Fluxos da base de dados especificamente associados ao uso de energia em unidades físicas e emissões de carbono (toneladas de CO2).....	175

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Procedimento computacional para análise de política ambiental usando o GTAP.....	47
Figura 2.1 Estrutura de produção do modelo GTAP padrão.....	65
Figura 2.2 Nova estrutura de produção do GTAP (GTAP-E).....	72
Figura 2.3 Estrutura de substituição entre fontes de energia.....	74
Figura 2.4 Estrutura de consumo do governo.....	77
Figura 2.5 Estrutura de consumo privado.....	78
Figura 2.6 Emissões de gases do efeito estufa (CO2) em 1997.....	91
Figura 3.1 Comparativo das exportações e importações brasileiras antes e depois da ALCA.....	102

## RESUMO

O objeto de estudo deste trabalho é uma avaliação dos impactos econômicos e ambientais de um possível acordo comercial da Área de Livre Comércio da Américas (ALCA) concomitantemente com as reduções de emissões de CO<sub>2</sub> tratadas pelo Protocolo de Quioto. Acordos globais de redução de CO<sub>2</sub> podem distorcer os resultados que seriam obtidos pelos acordos comerciais, e os acordos comerciais tendem a gerar mais emissões de CO<sub>2</sub>. Os cenários são construídos para a simulação de eliminação dos gravames tarifários entre os membros da ALCA bem como de redução de emissão de CO<sub>2</sub> para os signatários do Protocolo, admitindo ainda a possibilidade de execução de um dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto – o comércio de emissões.

O instrumento utilizado para as simulações - GTAP-E - é uma versão modificada do GTAP (*Global Trade Analysis Project*) desenvolvido pela Universidade de Purdue. O GTAP-E (energia), foi projetado para analisar assuntos relacionados ao uso de energia e impactos de políticas de mudança climática. Ele difere do modelo GTAP padrão principalmente pela descrição mais detalhada das possibilidades de substituição de uso entre as diferentes fontes de energia. Esse modelo utiliza uma base de dados que, além dos dados usualmente utilizados pelo GTAP padrão, inclui elasticidades de substituição para o uso dos *commodities* energia e quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> gerados pela queima dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo cru e gás natural), e também pelo uso de produtos derivados do petróleo e geração de eletricidade.

Os resultados obtidos corroboraram a hipótese que a política ambiental de redução de emissões, apesar de contribuir para a diminuição de CO<sub>2</sub> na atmosfera, de forma geral, afeta negativamente o bem-estar econômico dos países que abatem emissões, principalmente através do encarecimento das *commodities* de energia e a conseqüente redução do seu uso. Esse efeito é mais pronunciado em países cuja matriz energética é mais intensiva em carvão e petróleo. Para o Brasil, os resultados mostraram que a melhor estratégia para participar do processo de redução de emissões seria a de o país estar inserido diretamente no mecanismo de comércio de emissões. Essa situação traria ganhos de bem-estar econômico, avaliados pela variação equivalente da renda, superiores, em comparação às alternativas em que o mesmo não participa de tal mecanismo.

**Palavras-chave:** Comércio e meio ambiente, Protocolo de Quioto, Área de Livre-Comércio das Américas, GTAP-E, emissões de CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

The main goal of this thesis is to evaluate the economic and environmental impacts of the Free Trade Area of Americas (FTAA) simultaneously to the CO<sub>2</sub> emissions reductions that are fixed in Kyoto Protocol. These kinds of global agreements of CO<sub>2</sub> reductions may distort the results that could be obtained by the trade agreements, and the latter end up generating more CO<sub>2</sub> emissions. These dual effects can create several questions about what is more important or more efficient in an economic view, and this justifies the concern of this work.

The tool used is a modified version of GTAP (Global Trade Analysis Project) – the GTAP-E (energy). This one was projected to analyse the topics related to the energy use and the impacts of the climate changes policies. Its main differential is the detailed description of the interchange possibilities among the different energy sources, and it presents a data base that, besides the usual data used in the standard GTAP, includes the energy commodities substitution elasticities and the CO<sub>2</sub> emissions quantities generated by the burning of the fossil fuel (coal, crude oil and natural gas), by the use of oil derived products, and by the electricity generation.

The results confirm the hypothesis that, although the environmental policy of emissions reductions contributes to the decreasing of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, it affects negatively the economic welfare of the signatory countries. This happens mainly through the increasing of the energy commodities prices and the resulting reduction of their utilization. When it comes to Brazil, the simulations show that the best option would be to participate directly in the emissions trade set in Kyoto Protocol.

**Keywords:** Trade and environment, Kyoto Protocol, Free Trade Area of the Americas GTAP-E, CO<sub>2</sub> emissions.

## INTRODUÇÃO

Neste novo milênio ter-se-á que enfrentar duas importantes questões globais que, há algum tempo, tem ocupado pesquisadores do mundo inteiro: o “aquecimento global” e a “formação de blocos comerciais”. Esses dois temas, embora em um primeiro momento possam parecer independentes, interagem através dos mecanismos econômicos do comércio internacional. Grande parte das emissões dos chamados “gases do efeito estufa” (GEE) que provocam o aquecimento do Planeta – em especial o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) – é gerada pela produção e pelo consumo de energia que, dependendo da natureza da atividade econômica e das inter-relações dos mercados, pode-se intensificar através do comércio externo.

Nas últimas duas décadas observou-se um rápido crescimento das trocas internacionais entre os países. Esse crescimento foi acompanhado pela formação de blocos econômicos e pela tendência à regionalização do comércio. O Brasil inseriu-se nesse contexto, juntamente com a Argentina, Uruguai e Paraguai, através da assinatura do Tratado de Assunção, para formação do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL). O MERCOSUL foi uma tentativa de consolidação da terceira etapa de uma integração econômica que previa, além da eliminação das barreiras ao comércio e de uma tarifa externa comum (TEC) para países não-membros, a livre movimentação dos fatores de produção entre os países do bloco. Apesar dos problemas enfrentados ainda na primeira etapa do MERCOSUL, o Brasil participou, em 1994, da chamada Primeira Cúpula das Américas, quando ocorreram as negociações para a formação da Área de Livre Comércio das Américas (ALCA).

A ALCA tem como objetivo constituir uma zona com livre trânsito de bens e serviços. Entretanto, para que isso seja possível, conforme as regras da Organização Mundial do Comércio (OMC), é preciso que sejam eliminadas as tarifas de comércio (importação e exportação) de 85% dos produtos e serviços negociados entre os países participantes do bloco (todos do continente americano, exceto Cuba), em no máximo quinze anos. Programada para entrar em funcionamento no final de 2005, com o fim das

negociações para as reduções de tarifas, a implementação da ALCA tem encontrado resistências. Pelo lado das economias em desenvolvimento, entre as quais se encontra o Brasil, teme-se a ruína de parques industriais fracos e pouco desenvolvidos. Assim, o Brasil defende uma abertura gradual, e também que as negociações sejam feitas no âmbito do MERCOSUL, como forma de ganhar força para negociar com os Estados Unidos.<sup>1</sup>

A posição oficial dos Estados Unidos, na condição de maior economia da América e líder na implementação da ALCA, é defender uma abertura total dos mercados. Entretanto, esse país também tem encontrado resistências internas por parte dos sindicatos patronais e de trabalhadores que temem o desemprego e a concorrência dos produtos mais baratos provenientes de países da América Latina. Essa oposição tem encontrado apoio por parte dos congressistas que não aprovaram o *fast track* em 1997 (via rápida, na tradução do inglês) para implantação da ALCA.<sup>2</sup> Recentemente, mais especificamente em 2003, na VIII Reunião Ministerial da ALCA em Miami, adotou-se um novo formato de negociações mais flexível, conhecido como *ALCA light*. Nesse novo desenho, são permitidos dois níveis de compromissos: um que vale para todos os países participantes, e outro que prevê compromissos adicionais à escolha de cada membro (conhecido como “*a la carte*”). Essa flexibilização teve como objetivo permitir que impasses entre Brasil e Estados Unidos fossem contornados e o prazo previsto para a implantação do bloco fosse cumprido.<sup>3</sup>

Entretanto, se, por um lado, no que diz respeito às negociações da ALCA, as partes envolvidas não entram em consenso, por outro, no que tange ao aquecimento global, as negociações para contê-lo têm avançado de forma bem mais eficiente. Recentemente, a Rússia ratificou o Protocolo de Quioto e proporcionou a condição mínima exigida para que o mesmo entrasse em vigor. Esse tratado, cuja vigência começou em fevereiro de 2005, tem como objetivo restringir as emissões dos “gases do efeito estufa” em torno de 5% abaixo

---

<sup>1</sup> Simultaneamente ao processo de formação da ALCA, o Brasil também negocia com a União Européia uma possível abertura comercial.

<sup>2</sup> Em novembro de 1997, o então presidente Bill Clinton não conseguiu aprovar no Congresso o chamado *fast track*, que seria a via rápida para a implementação da ALCA. Carvalho e Parente (1999) comentam que esse fato acarretou uma posição mais flexível do governo americano, o que de certa forma beneficiou o Brasil e seus sócios no MERCOSUL, uma vez que esses países teriam mais tempo para se adaptar à abertura comercial.

<sup>3</sup> Os EUA não aceitavam discutir determinados assuntos, como subsídios agrícolas e medidas antidumping. O Brasil resistia às questões sobre investimentos, serviços, e propriedade intelectual.

dos níveis de 1990, para um grupo de países participantes do chamado Anexo I.<sup>4</sup> O Protocolo de Quioto prevê em seu texto que sejam permitidos três “mecanismos de flexibilidade” para que essa meta seja alcançada: o “Comércio de Emissões” (CE), a “Implementação Conjunta” (IC) e os “Mecanismos de Desenvolvimento Limpo” (MDL). Apesar de os países que não constam do Anexo I (basicamente os subdesenvolvidos e em desenvolvimento) estarem restringidos em sua participação nesse processo apenas através dos MDLs, a posição oficial brasileira é que a sua participação não fique restrita a conservar florestas. O Brasil defende a participação dos países em desenvolvimento também através de certificações de redução e comercialização de emissões de gases do efeito estufa (CERs).

A imposição de políticas de cunho ambiental, mais especificamente as de redução de emissão de carbono, pode afetar a competitividade dos países através da alteração do padrão de comércio causada pela variação dos preços relativos. Isso acontece porque, ao internalizar o custo de redução de emissões (impostos), a empresa transmitirá esse custo para o preço de seu produto. E as variações nos preços de bens ambientalmente sensíveis, tais como as *commodities* de energia, através do mecanismo do comércio internacional, tendem a se propagar para outras economias. A restrição de emissão de gases, portanto, tende a gerar alterações no bem-estar econômico, tanto nos países envolvidos diretamente, através da internalização dos custos, quanto naqueles envolvidos indiretamente, via os canais de comércio. Assim, dependendo da forma como o Protocolo de Quioto for implementado, poder-se-á ter diferentes impactos sobre as nações envolvidas. Portanto, o conhecimento prévio dos possíveis desdobramentos que a efetivação desse acordo pode trazer é muito importante para minimizar a incerteza acerca das vantagens e desvantagens do mesmo.

Os problemas da relação “comércio e meio ambiente” surgiram na agenda de debates da Organização Mundial de Comércio (OMC) em 1988, como resultado da disputa comercial entre os EUA e México na questão “Atum-Golfinhos” (OMC,1999).<sup>5</sup> Após esse episódio, esse tema tornou-se um campo extremamente fértil para debates e tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores ao redor do mundo. Um dos instrumentos econômicos

---

<sup>4</sup> A relação desses países encontra-se no ANEXO C.

<sup>5</sup> A disputa surgiu da aplicação extraterritorial da lei de proteção dos mamíferos marinhos vigente nos EUA.

que tem sido recentemente utilizado para avaliar essa questão é o modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC). Uma grande contribuição dos modelos EGC é que os mesmos podem fornecer informações *ex ante* para os formuladores de políticas, através da apresentação de cenários alternativos de situações reais. Os modelos de equilíbrio geral adotam uma solução que define uma situação econômica estável, na qual a demanda e a oferta são equalizadas em todos os setores. Esses modelos focalizam a interdependência dos mercados, possibilitando que se façam inferências sobre os impactos diretos e indiretos de externalidades de políticas de comércio e ambientais sobre os custos de produção e bem-estar do consumidor. Embora o estudo dos impactos ambientais decorrentes de acordos comerciais (e vice-versa) já seja um tema bastante pesquisado em nível mundial, no Brasil essa abordagem pode ser considerada ainda incipiente. Mais especificamente, quando se trata dessa problemática para o Brasil utilizando o instrumental de EGC, tem-se pouquíssimos trabalhos aplicados.

Assim, pretende-se com este trabalho fazer uma avaliação integrada de um possível acordo comercial da ALCA concomitantemente às reduções de emissões de CO<sub>2</sub> tratadas pelo Protocolo de Quioto. Ao tratar conjuntamente esses dois assuntos, podem ser obtidos resultados bastante distintos daqueles oriundos de uma avaliação individual, que tratasse os mesmos isoladamente. Portanto, serão construídos vários cenários para contemplar algumas possibilidades de execução da ALCA e Protocolo de Quioto. As simulações consistirão de choques de eliminação dos gravames tarifários entre os membros do bloco, bem como de redução das emissões de CO<sub>2</sub> para os signatários do Protocolo, admitindo ainda a possibilidade de execução de um dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo – o comércio de emissões. A análise dos resultados procurará privilegiar os impactos sobre os membros da ALCA e, mais especificamente, o Brasil. O instrumento a ser utilizado para as simulações é uma versão modificada do modelo GTAP de Hertel (1997) chamado de GTAP-E.<sup>6</sup>

O GTAP-E (energia) de Burniaux e Truong (2002) foi projetado para analisar assuntos relacionados ao uso de energia e aos impactos de políticas de mudança climática.

---

<sup>6</sup> O *Global Trade Analysis Project* ou GTAP, desenvolvido pelo Centro para Análise Global de Comércio na Universidade de Purdue (Indiana), é largamente utilizado em Modelos de Equilíbrio Geral Aplicado (EGA) para avaliar as interações entre o comércio e meio ambiente.

Ele difere do modelo GTAP padrão principalmente pela descrição mais detalhada das possibilidades de substituição de uso entre as diferentes fontes de energia. Esse modelo utiliza uma base de dados que, além dos dados usualmente utilizados pelo GTAP, inclui elasticidades de substituição para o uso das *commodities* energia, e quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela queima dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo cru e gás natural) e também pelo uso de produtos derivados do petróleo e geração de eletricidade.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta uma visão geral dos temas ligados à questão central que está sendo analisada, qual seja, a interação do comércio internacional com o meio ambiente. Nesse capítulo são mencionados alguns dos debates encontrados na literatura sobre esse tema, juntamente com uma breve revisão bibliográfica dos modelos econômicos que tratam desse assunto, e, mais especificamente, dos trabalhos aplicados de EGC. No Capítulo 2 são apresentadas algumas características importantes, tanto do modelo GTAP padrão quanto do GTAP-E. Busca-se nesse último explicar suas principais diferenças (GTAP x GTAP-E) e apresentar algumas observações que foram julgadas importantes sobre as características da base de dados de energia (versão 5.4 do GTAP), parâmetros e dados de emissão de CO<sub>2</sub>. Também são apresentadas algumas modificações da base de dados que se fizeram necessárias para a adequação ao modelo utilizado neste trabalho. No Capítulo 3 são mostradas as descrições dos cenários e os resultados das simulações. Finalmente, as considerações finais são tecidas na Conclusão.

## **1 COMÉRCIO E MEIO AMBIENTE**

Neste capítulo pretende-se apresentar uma visão geral dos temas ligados à questão central que está sendo analisada, qual seja, a interação do comércio internacional com o meio ambiente. Parte-se de uma abordagem mais geral – quando são mencionados alguns dos debates encontrados na literatura sobre este tema, juntamente com os modelos econômicos que tratam desse assunto – para uma mais específica, quando somente se analisam os trabalhos produzidos à luz do instrumental que se utilizará neste trabalho – o Equilíbrio Geral Computável.

### **1.1 Meio Ambiente e Comércio Internacional: uma breve revisão**

O tema comércio e meio ambiente é um campo extremamente fértil e tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores ao redor do mundo. Os ramos nos quais esse tema se divide abrangem as mais variadas situações: os efeitos do comércio sobre o meio ambiente (poluição do ar, água e uso da terra); a política ambiental sobre a competitividade dos países através da internalização dos custos ambientais; as medidas ambientais com propósitos de proteção comercial; e as medidas comerciais com propósitos ambientais.

### 1.1.1 Abertura comercial e qualidade ambiental: visões alternativas

O tema comércio internacional e meio ambiente é considerado na literatura como uma via de mão dupla.<sup>7</sup> Se, por um lado, tem-se a abertura comercial como possível indutora da degradação ambiental, por outro, pode-se ter os padrões de exigências ambientais afetando a competitividade dos países.<sup>8</sup> Dentro dessa literatura, é possível observar duas hipóteses conflitantes quanto à abertura comercial e aos futuros níveis de qualidade ambiental: a “Hipótese de Dotação de Fatores” (HDF) e a “Hipótese de Portos de Poluição” (HPP).<sup>9</sup>

De acordo com a teoria clássica do comércio, sabe-se que a vantagem comparativa de um país vem das diferenças de tecnologia e dotação de fatores, quando comparadas a seu respectivo parceiro comercial. Um país que possui uma tecnologia que o permite produzir com um custo relativamente menor (ou que é rico em certos recursos) tem vantagem comparativa na produção de bens intensivos nessa dotação.<sup>10</sup> Isto implica que, em um mundo totalmente integrado com livre comércio, no limite extremo, toda produção mundial seria alocada de acordo com as respectivas vantagens comparativas. Assim, devido às características referentes à dotação de fatores de produção, muitos países seriam obrigados a se especializar na produção de bens que exigem práticas que degradam o meio ambiente.

A primeira hipótese (HDF) prevê que a liberalização comercial resultará em padrões de comércio consistentes com a teoria de Heckscher-Ohlin-Samuelson, ou seja, a teoria das

<sup>7</sup> Essa abordagem pode ser encontrada, por exemplo, em Grossman and Krueger (1993), Tobey (1990) e Antweiler, Copeland e Taylor (1998).

<sup>8</sup> Uma definição comum de competitividade é o grau pelo qual um país pode, sob condições de mercado livre e justo, produzir bens e serviços que possam ser vendidos no mercado internacional, mantendo e expandindo, ao mesmo tempo, a renda real de sua população. Isto sugeriria que é sua relativa posição competitiva em relação a outros países que determina o sucesso econômico de um país. De acordo com Krugman (1994), (...) “o que importa, predominantemente, é o absoluto crescimento da produtividade doméstica”.

<sup>9</sup> Tradução dos termos em inglês, respectivamente, *Factor Endowment Hypothesis (FEH)* e *Pollution Haven Hypothesis (PHH)*.

<sup>10</sup> Smith mostrou que, se dois países tivessem vantagens naturais absolutas na produção de diferentes mercadorias, seria benéfico para ambos trocarem essas mercadorias através do comércio internacional. Ricardo, seu sucessor, mostrou com um modelo que utilizava somente um fator de produção, que bastaria que os países tivessem custos de oportunidade diferentes e que o preço internacional do produto ficasse dentro do intervalo entre esses custos (intervalo ricardiano) para que os países ganhassem com o comércio. Neste trabalho utiliza-se o termo vantagem comparativa para indicar que o país terá vantagem com o comércio especializando-se em alguma atividade produtiva.

vantagens comparativas resultantes dos diferenciais de dotação de fatores. A premissa aceita é a de que os bens intensivos em poluição são relativamente também intensivos em capital e, portanto, as indústrias poluidoras realocariam sua produção de países relativamente trabalho-abundante (Sul) para os países com produção capital-abundante (Norte).<sup>11</sup> Essa hipótese é suportada pela observação de que as indústrias do Sul têm sido historicamente protegidas da concorrência internacional e, quando expostas à abertura comercial, suas ineficiências acabam provocando a realocação da produção do Sul para o Norte.

Por outro lado, relacionando o conceito de vantagem comparativa com a questão ambiental, tem-se que a vantagem comparativa tecnológica de um país pode ser alterada pela política ambiental. A análise econômica sugere que a utilização de políticas ambientais aumenta o custo de produção e, assim, reduz a possibilidade de especialização de países na produção de bens que exigem atividades poluidoras. Ou seja, como afirma Siebert (1977), países com políticas ambientais menos rígidas têm sua vantagem comparativa aumentada em bens ambientalmente sensíveis (bens produzidos em indústrias “sujas”).<sup>12</sup>

Desta relação citada no parágrafo acima, surge outra hipótese, a Hipótese de Portos de Poluição (HPP). Essa hipótese é derivada da legislação ambiental que pode comprometer a competitividade, distorcendo os padrões de vantagem comparativa. Uma vez que a severidade das regulações ambientais aumenta com a renda e o desenvolvimento econômico, a HPP assume que os países em desenvolvimento (Sul) passam a adquirir uma vantagem comparativa na produção poluição-intensiva.<sup>13</sup> Assim, as indústrias consideradas “sujas” poderiam deslocar-se do Norte para o Sul (através do investimento direto estrangeiro – IDE) e, dessa forma, os países do Sul tornariam-se deliberadamente “receptores” das indústrias mais poluidoras do mundo.<sup>14</sup> De uma forma geral, a evidência

---

<sup>11</sup> Indústrias químicas, de metais ferrosos e não-ferrosos, papel e celulose, e refino de petróleo.

<sup>12</sup> Não existe um consenso sobre essa questão, sendo necessárias maiores comprovações empíricas. Estudos mostram que os custos de abatimento de poluição nos países desenvolvidos ficam em torno de 1% do custo total de produção para a média da indústria, podendo chegar a, no máximo, 5% para as indústrias mais poluidoras. Portanto, pode ser que essa desvantagem no custo de produção não seja determinante do padrão de comércio.

<sup>13</sup> A hipótese de que o aumento da renda melhora a qualidade ambiental é baseada na existência de uma Curva de Kuznets Ambiental. Ou seja, com padrões de vida melhores decorrente do aumento na renda, a população passaria a exigir um meio ambiente mais limpo para viver.

<sup>14</sup> Na literatura especializada, esta situação é conhecida como “*race to bottom*”: os países afrouxam suas leis ambientais para atrair investimentos produtivos.

empírica não sustenta essa hipótese. Na verdade, existe um certo consenso de que existem outros fatores que podem pesar mais nas decisões de investimento do que os custos de controle ambiental, tais como estabilidade política, qualificação da mão-de-obra, acesso aos mercados, disponibilidade de matérias primas, infra-estrutura, custos de transportes, incentivos fiscais etc. Por outro lado, existe o argumento que nos anos 1970 houve uma migração das indústrias de base dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para os países em desenvolvimento.<sup>15</sup> Entretanto, esta migração, como é colocada em Togeiro de Almeida (1998), tanto pode ter um caráter de incentivo da política ambiental mais branda, quanto pode ser devida a uma nova etapa do desenvolvimento desses países.

A forma como o comércio internacional afeta o meio ambiente das nações, e as políticas ambientais adotadas unilateralmente podem afetar a competitividade dos mesmos, ainda é uma questão que carece de maior investigação empírica. Os resultados encontrados na literatura pertinente são ainda muito controversos. Apesar dessa discussão, um fenômeno que tem suscitado o debate no mundo devido ao seu caráter de urgência é o aquecimento global causado pelas emissões dos gases causadores do efeito estufa. Nessa discussão, o comércio internacional tem também um lugar de destaque.

### **1.1.2 Comércio internacional e o aquecimento global**

A influência que o comércio internacional tem sobre o aquecimento global provém basicamente de duas fontes: primeiro, através das emissões de CO<sub>2</sub>, quando as mercadorias são transportadas para diferentes partes do mundo; segundo, pelo deslocamento das atividades produtivas poluidoras, que são canalizadas pelo comércio através de vários mecanismos de mercado. Apesar dos problemas de emissões de gases decorrentes do transporte de mercadorias que a intensificação do comércio internacional possa trazer para a atmosfera, o objeto de estudo neste trabalho é a realocação da produção das indústrias

---

<sup>15</sup> São exemplos de indústrias de base as indústrias química, petroquímica, siderúrgica, metalúrgica, de fertilizantes, de celulose e papel, etc.

energo-intensivas e suas emissões de carbono causadas pelo comércio internacional. Para introduzir esse assunto é necessário que antes se faça uma breve explanação do que vem a ser o “efeito estufa”, mudança climática e escape (vazamento) de carbono.

### *O “efeito estufa” e a mudança climática*

O ser humano, através de suas atividades econômicas, principalmente após o advento da Revolução Industrial, pode estar contribuindo para o aquecimento da Terra.<sup>16</sup> A intensificação do “efeito estufa” e as conseqüências climáticas decorrentes do aquecimento global podem trazer sérios problemas para a vida humana e o ecossistema como um todo.<sup>17</sup> Apesar de não haver ainda um consenso sobre a magnitude da interferência humana na temperatura do Planeta (embora os cientistas advirtam que nos últimos cem anos a temperatura média da Terra aumentou aproximadamente 0,6° C), esse tema tornou-se uma preocupação mundial, que culminou com o comprometimento dos países mais desenvolvidos (OCDE) em reduzir suas taxas de emissão dos gases que contribuem para o “efeito estufa”.<sup>18</sup>

Para que se possa entender a influência humana no clima do planeta Terra, é necessário que se entenda o funcionamento do sistema climático, e como a ação humana pode interferir no mesmo. A mudança climática refere-se a uma variação estatisticamente significativa, tanto no estado médio do clima quanto na sua variabilidade, e que seja persistente ao longo de décadas ou períodos mais longos. A mudança do clima pode resultar tanto de um processo interno da natureza quanto de forças externas, como as

---

<sup>16</sup> De acordo com a definição das Nações Unidas, mudança climática diz respeito somente à mudança no clima que é atribuída, direta ou indiretamente, à atividade humana, que altera a composição da atmosfera e a variabilidade climática.

<sup>17</sup> Como, por exemplo, mudanças nos regimes de chuvas e ventos, com intensificação de fenômenos naturais como furacões, ciclones e inundações.

<sup>18</sup> A controvérsia reside no fato de não se saber, com precisão, até que ponto a interferência humana afeta o sistema climático, pois a mudança climática é um fato histórico já ocorrido antes na história do Planeta e que gerou eras glaciais.

persistentes emissões “antrópicas” dos gases do “efeito estufa” na atmosfera terrestre.<sup>19</sup> O “efeito estufa” trata-se de um processo natural que proporciona condições ideais para o desenvolvimento da vida na Terra, e é causado pela presença em concentração adequada dos seguintes gases na atmosfera: vapor d’água (H<sub>2</sub>O), ozônio (O<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). A presença desses gases permite que a atmosfera capte radiação solar e retenha uma parte do calor, como se fosse uma estufa, o que proporciona condições adequadas para a vida na Terra.

Entretanto, o homem, através da atividade econômica, também gera alguns desses gases, sendo o mais importante o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esse gás surge da queima de qualquer material que contenha o elemento carbono e, portanto, pode-se encontrá-lo na queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural, e nas atividades econômicas carbo-intensivas como as de metalurgia, siderurgia e transportes. Além do CO<sub>2</sub>, pode-se destacar também o metano (CH<sub>4</sub>) que é liberado pela decomposição de matéria orgânica. Nesse caso, as atividades econômicas como agricultura, desmatamento e produção de lixo e esgoto são as maiores fontes geradoras de metano.

A preocupação da humanidade com as emissões dos gases do efeito estufa e as possíveis conseqüências do aquecimento global fizeram com que os organismos supranacionais tomassem providências para combater esse problema. Pode-se dizer que o processo que culminou no documento chamado “Protocolo de Quioto” começou em junho de 1988, em Toronto (Canadá), na Conferência Mundial sobre Mudanças Atmosféricas, como resultado da necessidade de adoção de uma convenção internacional sobre a mudança climática. Nessa conferência foi criado um grupo de trabalho para dar respaldo técnico e científico, constituído por vários países e profissionais de várias áreas do conhecimento,

---

<sup>19</sup> Adaptado do termo *Anthropogenic emissions*, que significa emissões dos gases do “efeito estufa” por atividades humanas. Essas emissões decorrem principalmente da queima de combustíveis fósseis para produção de energia, desmatamento e uso da terra.

chamado de Painel Intergovernamental sobre a Mudança Climática - IPCC (sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*).<sup>20</sup>

Dois anos após o primeiro relatório desse grupo, que conclui que a mudança climática representaria de fato uma ameaça para a humanidade, foi criada a Convenção da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre a mudança do clima.<sup>21</sup> O objetivo principal dessa Convenção era estabilizar as emissões e, conseqüentemente, as concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera num nível que impediria que a interferência antrópica danificasse o sistema climático. Era também objetivo dessa convenção que a produção de alimentos não fosse ameaçada, e permitir que o crescimento econômico prosseguisse de maneira sustentável. Como resultado, ficou acordado em seu Anexo I, que os países da OCDE e antiga URSS adotariam políticas de mitigação capazes de fazer com que os níveis de emissão antrópica dos referidos gases retornassem aos níveis de 1990 até o ano 2000 (primeiro prazo). Em 1997, em Quioto, no Japão, foi aprovado o documento (que veio a ser chamado Protocolo de Quioto) quantificando as metas de redução de emissões.<sup>22</sup>

Em um primeiro período, essas metas deveriam ser atingidas entre 2008 e 2012 pelos países constantes em seu Anexo B (praticamente os mesmo do Anexo I da Convenção da ONU).<sup>23</sup> Os Estados Unidos, maior parceiro comercial da ALCA (responsável por cerca de 40% das emissões entre os países do Anexo I e aproximadamente um quarto do consumo mundial de energia relacionada às emissões de carbono em 1990), havia concordado em reduzir 7% de suas emissões comparadas aos níveis de 1990 até 2008/2012

---

<sup>20</sup> Organizado pelo Programa das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o IPCC é hoje o principal responsável pelas previsões, amplamente divulgadas para o conhecimento geral, sobre aquecimento global nas próximas décadas.

<sup>21</sup> A Segunda Conferência Mundial sobre o Clima, em 1990 (a primeira havia sido em 1978, em Genebra, na Suíça), estabeleceu a necessidade de um tratado, chamado inicialmente "Convenção-Quadro, sobre Mudanças Climáticas". As negociações começaram em dezembro do mesmo ano, sendo estabelecido um comitê para produzi-lo - o Comitê Intergovernamental de Negociação para uma Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change - INC/FCCC*).

<sup>22</sup> Pereira e May (2003) relatam que as metas de redução de carbono foram estabelecidas através de uma espécie de "leilão", em que os negociadores ofereciam suas metas.

<sup>23</sup> A Convenção dividiu os países em dois grupos: os que seriam abrigados a reduzir suas emissões e foram listados em seu Anexo I (Partes/Países Anexo I), e os demais que não foram listados no referido Anexo (Partes/Países não-Anexo I). O Anexo B do Protocolo de Quioto é equivalente ao Anexo I, com pequenas alterações. Ver Anexo C deste trabalho.

(Protocolo de Quioto, 1997).<sup>24</sup> Entretanto, posteriormente, em 2001, o presidente Bush retirou os Estados Unidos do Protocolo de Quioto.<sup>25</sup> Para isso foram utilizados alguns argumentos: incerteza sobre os reais danos que as emissões trariam ao processo de mudança climática; afirmação de que os países pobres também deveriam fazer parte do tratado e serem forçados a reduzir emissões ao mesmo tempo em que os países ricos; e, principalmente, preocupação quanto aos danos que o acordo poderia trazer para o desempenho econômico americano.

Na verdade, o principal motivo de dissensão foi a proposta de um grupo de países conhecido como Grupo do Guarda-Chuva, formado principalmente por Estados Unidos, Canadá, Japão e Austrália, de incluir projetos florestais (como reflorestamentos) no cálculo das reduções de emissões de carbono. Isso aliviaria os EUA, atualmente o maior emissor de carbono do mundo, de parte de sua responsabilidade de diminuir suas emissões previstas pelo Protocolo de Quioto. A proposta foi rejeitada pela União Européia, levando a um impasse. Entretanto, países do Grupo do Guarda-Chuva, como o Japão, decidiram ratificá-lo, o que afastou o medo que esse impasse impedisse futuras negociações.<sup>26</sup> Recentemente, com a ratificação da Rússia (final de 2004), que era responsável por cerca de 17% das emissões globais dos países industrializados em 1990, a condição mínima estabelecida para entrada em vigor do Protocolo foi atingida (comprometimento de redução 55% das emissões totais). A vigência do referido acordo teve início em 16 de fevereiro de 2005.

Para ajudar a atingir essas metas de redução de emissões pelos países do Anexo I, o Protocolo de Quito estabeleceu ainda a possibilidade de utilização dos “mecanismos de flexibilidade”. Para Pereira e May (2003), esses mecanismos representaram uma grande inovação trazida pelo Protocolo, pois devido a mudança climática se tratar de um fenômeno global, não importa onde ocorrem as reduções de emissões. Assim, esses mecanismos

---

<sup>24</sup> Ficou acertado na rodada de negociações de Bonn, em 2001, que o acordo vai contemplar mecanismos de sanções. Entretanto, esses mecanismos serão determinados, via emenda, depois da ratificação do Protocolo.

<sup>25</sup> O governo de George W. Bush radicalizou a posição dos EUA ao contestar as bases científicas do Protocolo de Quioto, oportunidade em que chegou a convocar um grupo de cientistas norte-americanos para rever os resultados das pesquisas do IPCC.

<sup>26</sup> O Brasil ratificou-o em 19 de junho de 2002.

permitem que um país do Anexo I contabilize para si reduções de emissões em outros países, seja diretamente, ou através de investimentos de projetos em outros países.

### *Mecanismos de flexibilidade*

Os mecanismos de flexibilidade foram admitidos no Protocolo com o objetivo de permitir que a meta de redução de emissões de CO<sub>2</sub> fosse alcançada da maneira mais eficiente possível. A diferença entre custos de abatimento de emissões entre os países foi o fator determinante para a inserção desses mecanismos. De um lado, pode-se encontrar países cuja capacidade de abatimento seja pequena e ser extremamente penoso para os mesmos atingir seus respectivos alvos de redução de emissões agindo individualmente. Por outro lado, pode acontecer que países com custos relativamente menores (países não pertencentes ao Anexo I, por exemplo) não explorem devidamente esse benefício, devido aos seus baixos comprometimentos de redução de emissões.<sup>27</sup> Assim, os mecanismos de flexibilidade possibilitariam que as reduções de emissões fossem alcançadas nesses países com custos menores e contabilizadas para os de maiores custos de abatimento. O Protocolo de Quioto permitiu três possibilidades: comércio de emissões, implementação conjunta e mecanismos de desenvolvimento limpo.

O artigo 17 do Protocolo diz que os países integrantes do Anexo I podem participar de um mercado de comércio de emissões de forma a atingir seu comprometimento de redução de emissões. A idéia é que aqueles países que podem atingir rapidamente seu alvo de emissões, devido aos seus custos de abatimento menores, possam vender o excedente para países com altos custos de abatimento. Entretanto, em outro ponto do documento, existe uma preocupação para que o “comércio de emissões” não exima os países da responsabilidade de redução das emissões. O Protocolo deixa explícito que essa medida tem de ser suplementar às ações domésticas de redução de emissões. Ou seja, existe uma

---

<sup>27</sup> Segundo OCDE (1999), apesar de os países não-Anexo I terem baixas emissões per capita, suas emissões por unidade do PIB são geralmente altas. Isso resulta em um custo de redução da intensidade das emissões muito baixo, comparativamente a muitos países da OCDE.

clara intenção no documento de forçar os países a se comprometer em reduzir suas emissões, e não somente a comprar direitos para poluir.

Os outros dois instrumentos, implementação conjunta (IC) e mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), basicamente buscam o mesmo objetivo do comércio de emissões (alcançar a redução de emissões de maneira mais eficiente do ponto de vista econômico), mas com uma diferença importante: a transferência de tecnologia através de investimentos. A IC permite a um país patrocinar um projeto de redução de emissões em outro país do Anexo I, adquirindo assim o respectivo crédito dessa redução como se fosse dele próprio. O MDL é similar ao IC, mas com uma particularidade, os projetos só podem ser desenvolvidos em países não pertencentes ao chamado Anexo I.<sup>28</sup>

### *Participação brasileira*

Pode-se dizer que a participação mais efetiva do Brasil começou em 1992, quando sediou a Rio-92 (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), ocasião em que foi criada a “Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas”.<sup>29</sup> Em 1997, o Brasil propôs a criação de um fundo formado por contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução, cuja proposta foi transformada no MDL em Quioto (MCT, 1999).

O Brasil é um membro-parte do Protocolo de Quioto, entretanto, não como componente integrante do Anexo I.<sup>30</sup> O Brasil faz parte do grupo de países que emitem carbono abaixo do nível máximo estabelecido pelo Protocolo e, portanto, não tem

---

<sup>28</sup> Como definido no artigo 12 do Protocolo de Quioto, o MDL consiste na possibilidade de um país que tenha compromisso de redução (Anexo I) adquirir certificados de redução de emissões de gases de efeito estufa em projetos gerados em países em desenvolvimento, como forma de cumprir parte de seus compromissos. A idéia consiste em que um projeto gere certificados de reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo, para a mitigação da mudança do clima.

<sup>29</sup> Somente ratificada pelo Brasil em 1994.

<sup>30</sup> Sua adesão foi assinada pelo Presidente Fernando Henrique Cardoso em 2002.

obrigação de reduzir seus níveis de emissão no prazo previsto pelo mesmo.<sup>31</sup> Assim sendo, a participação brasileira nesse processo seria a de um receptor de investimentos dos países desenvolvidos, interessados em financiar projetos para redução de gases do efeito estufa.<sup>32</sup>

A posição oficial brasileira, divulgada em documento elaborado pela Coordenação de Pesquisa em Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 1999), era que o país não participasse desse processo apenas como um mero “conservador” de florestas. De acordo com o referido documento, essa prática não contribui para a mitigação da mudança do clima, uma vez que não há variação negativa na concentração de gases do efeito estufa na atmosfera no ato de preservar uma floresta da devastação. O MCT defendeu a criação de um *fast track* (via rápida), através da certificação de redução de emissões de gases do efeito estufa, cujos certificados conhecidos como CERs seriam comprados e mantidos em carteira por uma instituição financeira nacional. As maiores dúvidas da época em que foi editado esse documento pairavam sobre a existência de demanda futura para as CERs, incerteza quanto à elegibilidade dos projetos, ao custo da tonelada de carbono, e à entrada em vigor do Protocolo de Quioto.

A dúvida quanto a esse último empecilho foi dirimida em 16 de fevereiro de 2005, ocasião em que o Protocolo de Quioto entrou em vigor e passou a ser o Tratado de Quioto. Quanto ao mercado de CERs, foi anunciado pela imprensa que a Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F) juntamente com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) vão lançar o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), que deverá entrar em funcionamento até o final de 2005.<sup>33</sup> Em que pese indeterminações ainda sobre alguns pontos do referido documento referente à implementação do mesmo, o que tem realmente causado preocupação é a questão do “escape de carbono”.

---

<sup>31</sup> Embora o Brasil já figure na sexta colocação, com 3% das emissões dos gases do efeito estufa no período 1990/1994. Porém, não devido a sua industrialização ou queima de combustíveis fósseis, mas sim pelo desmatamento que é responsável por 77% das emissões brasileiras (Revista *Carta Capital* de 15 de dezembro de 2004).

<sup>32</sup> Seroa da Motta *et al.* (2000) destacam os setores florestal e de energia como potenciais para a implantação de projetos que visem esse objetivo. Embora no setor de energia a eletricidade possa ser gerada predominantemente por hidrelétricas, os autores enfatizam que o crescimento econômico pode trazer importantes emissões de CO<sub>2</sub>, dadas as tendências normais de utilização dos combustíveis fósseis.

<sup>33</sup> Maiores informações sobre a mudança climática e o Protocolo de Quioto podem ser encontradas em Protocolo de Quioto (1997), MCT (1999) e Seroa da Motta *et al.* (2000).

*Escapes de Carbono (carbon leakage)*

Um dos principais empecilhos para os países desenvolvidos no que diz respeito a adotar medidas de mitigação nas emissões dos gases do efeito estufa é o chamado “escape de carbono”. A falta de participação dos países em desenvolvimento no combate à mudança climática pode enfraquecer o efeito positivo das medidas contra emissões. O argumento utilizado é que essas providências quando tomadas somente por alguns países tende a gerar alterações no padrão de competitividade. Os produtos intensivos em carbono passam a ser mais utilizados nos países que não abatem emissões e, conseqüentemente, os esforços implementados para a redução de emissões podem ser inócuos. A taxa de vazamento ou escape divulgada na literatura é de aproximadamente 20%.<sup>34</sup> Ou seja, 20% das emissões de GEE que possam vir a ser mitigadas pelos países do Anexo I ocorreriam da mesma forma em outros países devido ao mecanismo de transmissão do mercado mundial.

Nesse contexto de incerteza quanto à eficácia das medidas de mitigação por parte dos países do Anexo I, o comércio internacional tem papel fundamental como mecanismo de propagação do escape de carbono. De acordo com a literatura pertinente, o “escape de carbono” pode ocorrer basicamente por duas razões: primeiro, as indústrias energo-intensivas podem se mudar para os países que não abatem emissões, uma vez que a energia se torna mais barata porque os mesmos não adotam uma taxaço que possa induzir à mitigação; segundo, os processos de produção se tornam mais energo-intensivos nos países em desenvolvimento por causa de preços mais baixos de energia.

Por trás dos mecanismos-chave do escape de carbono são destacados dois canais gerais que podem ser avaliados em um modelo de equilíbrio geral: os mercados de energia e de não-energia. No mercado de não-energia, por exemplo, um aumento do custo de produção ocasionado por um abatimento de emissão de carbono reduz a competitividade nas indústrias intensivas nesse insumo. Isso pode deslocar, em nível mundial, a produção

---

<sup>34</sup> A “leakage rate” ou “taxa de escape” é definida como a razão entre as emissões adicionais em países não integrantes do Anexo I e a redução alcançada pelos países do Anexo I.

de bens intensivos em energia para os países de fora do Anexo I. Esse mecanismo age via elasticidades de *Armington* e sua intensidade depende da magnitude dessas elasticidades.<sup>35</sup> Bohringer e Rutherford (2000) mostram que a escolha da suposição sobre a magnitude desse parâmetro tem um importante impacto na taxa de escape, ou seja, quanto maior a elasticidade, maior a taxa de escape de carbono.<sup>36</sup> Outro mecanismo atuante nesses mercados é o deslocamento do investimento para os países não participantes do acordo de mitigação de emissões de carbono. Nesse caso, o grau de mobilidade internacional do capital é a variável-chave do processo.

Nos mercados ditos de “energia” (mercados de *commodities* de energia), o abatimento de carbono age reduzindo a demanda mundial dessas *commodities*, que, por sua vez, provoca uma queda no preço internacional dos combustíveis fósseis mais intensivos em carbono. Como consequência, ocorre um aumento na demanda de energia e, assim, nas emissões de carbono em países que não promovem abatimento. A determinante que é citada como influenciadora do tamanho e o escopo desse efeito é a estrutura do mercado internacional de energia, cujos parâmetros-chave são as elasticidades de oferta para carvão, petróleo e gás natural. Devido ao fato de o carvão ser o combustível mais intensivo em carbono, a elasticidade de oferta do carvão ocupa papel de fundamental importância na magnitude do escape de carbono (Burniaux e Oliveira Martins, 2000).

Outro determinante citado pela literatura é o formato da função consumo cujos fatores para análise neste instrumental são as elasticidades de substituição entre as diferentes fontes de energia e as elasticidades entre o composto de energia e o valor adicionado. Cabe notar que existem várias causas para o escape de carbono, donde realocação industrial é apenas uma. Não há um relacionamento inequívoco entre o escape de carbono e a realocação industrial, portanto, o efeito líquido destas forças nas emissões de carbono e “escape de carbono” é uma questão empírica que depende fortemente da suposição feita para as elasticidades. Para Oliveira Martins (1996), com o modelo GREEN, as elasticidades de oferta de energia são mais influentes do que as elasticidades de

---

<sup>35</sup> Elasticidades de substituição em uma estrutura de preferências de *Armington* significam que um bem produzido em uma região pode ser um substituto imperfeito para o mesmo bem produzido na mesma indústria, mas em outras regiões. Ou seja, a mesma *commodity* de diferentes fontes pode ser comercializada a preços diferentes.

<sup>36</sup> Suposição do tipo competição Ricardo-Viner ou Heckscher-Ohlin, nas quais as elasticidades de comércio são muito grandes, implica que os produtos comercializáveis são homogêneos.

substituição em mercados mundiais para bens intensivos em energia. Bollen et al. (2000) dizem que o importante para a magnitude da taxa de escape são as possibilidades de substituição na função de produção. Entretanto, Light (1999), com o modelo Rutterford, afirma que o mecanismo de escape é totalmente influenciado pelo mercado internacional de carvão.

## **1.2 Modelos utilizados para avaliação do tema comércio e o meio ambiente**

A seguir apresenta-se uma breve revisão dos modelos econômicos que vêm sendo utilizados para avaliar as questões relacionadas ao comércio e meio ambiente.<sup>37</sup>

Algumas das categorias de modelos que têm sido amplamente utilizadas são os modelos de comércio internacional. O modelo de Heckscher-Ohlin inclui dois insumos, dois bens, dois fatores de produção (capital e trabalho), e dois países.<sup>38</sup> É assumido que os fatores de produção têm perfeita mobilidade entre os países. As tecnologias e gostos são idênticos e cada país exportará o bem no qual a dotação do fator para produzi-lo é abundante. Assim as vantagens comparativas e conseqüentemente o comércio são determinados pela dotação dos fatores de produção. Vários estudos empíricos e teóricos que envolvem a relação entre o comércio e o meio ambiente são baseados em variações do modelo H-O [eg. Walter (1975), Grubel (1976), Siebert (1992)]. Em uma modificação utilizada por Walter (1975), a aproximação inclui a prevenção de danos ambientais como um terceiro bem no modelo, competindo com os outros dois. Seu estudo mostrou que o equilíbrio existe e que o crescimento no abatimento da poluição reduz a produção de bens convencionais, mas o bem-estar social aumenta.

Outra variação assume que a poluição ambiental é associada alternativamente com a produção e consumo de um dos dois bens (Grubel, 1976). A poluição ambiental resulta

---

<sup>37</sup> Para uma análise mais detalhada, ver Huang e Labys (2002).

<sup>38</sup> O modelo de proporção dos fatores de Heckscher-Ohlin mostrou que o comércio internacional era conduzido basicamente por diferenças entre os recursos dos países. Eli Heckscher e Bertil Ohlin, sendo, este último, Prêmio Nobel de Economia em 1977.

tanto em uma redução na fronteira de possibilidade de produção do país em questão, quanto em uma redução no nível de consumo do bem poluidor quando é implementada uma medida de proteção ambiental. Siebert (1992) interpreta a escassez ambiental como um fator de produção no modelo H-O e conclui que, se a política de comércio e a ambiental encontram os preços-sombra corretos de seus fatores ambientais, o país ambientalmente rico terá vantagem comparativa para produzir bens intensivos em poluição e exportá-los, e vice-versa.

Dentre as aplicações empíricas do modelo H-O para assuntos ambientais, o que se tornou mais utilizado foi o *cross-sectional* H-O-V (Heckscher-Ohlin-Vanek).<sup>39</sup> De acordo com este modelo, as diferenças relativas na dotação de fatores são ainda os determinantes das vantagens comparativas. Entretanto, este modelo estabelece um relacionamento entre exportações líquidas de *commodities* e a dotação de fatores.

Tobey (1990) estendeu este modelo para introduzir uma variável qualitativa dentro da equação da dotação e exportação líquida. Esta variável representou a dotação ambiental medida pela “rigidez” da política ambiental. Utilizou ainda outros recursos como capital, diferentes tipos de trabalho e usos para a terra, carvão, minerais e petróleo. A estimação econométrica foi baseada em observações de 23 países (13 desenvolvidos e 10 em desenvolvimento). Foram investigados também os efeitos da política ambiental no comércio através dos sinais dos termos erros estimados quando a variável dotação ambiental é excluída do modelo. O resultado mais importante foi o seguinte: políticas ambientais rígidas adotadas pelos países desenvolvidos no início dos anos 1960 e fim dos 1970 não tiveram impactos mensuráveis nos padrões do comércio mundial.

Outros modelos que têm sido aplicados ao comércio internacional e meio ambiente são os modelos gravitacionais. Estes modelos explicam o fluxo de comércio entre dois países através da renda, população, e medidas de proximidade geográfica e econômica. Em sua especificação mais comum, os fluxos de comércio bilateral do modelo gravitacional são uma função log-linear da renda e da distância geográfica dos dois parceiros comerciais, e de quaisquer outros fatores que promovam ou prejudiquem o comércio entre eles. Van

---

<sup>39</sup> Vanek(1968), Melvin (1968), e Leamer (1980).

Beers e van den Bergh (1997) estendem o modelo gravitacional básico para incluírem variáveis que descrevem políticas ambientais domésticas. Os autores replicaram os testes empíricos de Tobey (1990) e encontraram resultados similares. Ou seja, políticas ambientais mais rígidas têm um impacto insignificante no fluxo de comércio de indústrias poluidoras.

Os modelos de Insumo-Produto (I-O) também têm sido amplamente utilizados para esse fim. Os modelos de I-O tradicionais descrevem e explicam a produção e o consumo de cada setor de uma dada economia, em termos de seus relacionamentos com as atividades correspondentes em todos os outros setores (Leontief, 1966 e 1970). Eles são apresentados por um conjunto de equações lineares que expressam o equilíbrio entre o total de insumo e produto agregado de cada bem e serviço, produzido e usado durante um determinado período de tempo. A análise de multiplicadores constitui um importante aspecto de aplicação dos modelos I-O. Eles medem os impactos de mudanças econômicas exógenas nas variáveis endógenas do modelo, tais como produto total, emprego e renda. Um importante aspecto a ser ressaltado sobre os modelos de I-O é que estes podem ser utilizados como base para modelos de EGC, através da incorporação de sistemas de oferta-demanda.

Para incorporar o comércio internacional dentro do modelo I-O existem duas aproximações (Backer, 1972). A primeira omite os preços: as exportações são exogenamente introduzidas no modelo, e as importações são determinadas de acordo com o nível doméstico de produto e a restrição do balanço de pagamentos. Apesar de os preços aparecerem na restrição do balanço de pagamentos, eles são dados como constantes. Esses modelos permitem descobrir a fonte das vantagens comparativas e a estrutura de produção para o comércio internacional. A segunda introduz o mecanismo de preços junto com as importações e exportações. As relações entre exportações e importações agora são determinadas pelos preços relativos em vez de coeficientes de preço constantes.

Os primeiros modelos de I-O que incluíram interações entre a economia e o meio ambiente foram concebidos por Ayres e Kneese (1969) e Leontief (1970 e 1973). Os mais recentes utilizam uma matriz de coeficientes técnicos com linhas e colunas adicionais para descrever a geração de poluição e atividades de abatimentos. Normalmente os poluentes

aparecem como linhas na matriz, e a poluição de cada setor é assumida como uma função de seu produto. Os setores antipoluição são incluídos nas colunas das matrizes, obtendo insumos de todos os setores econômicos. Nestes modelos, o conceito de equilíbrio de matérias-primas é muito importante, pois os materiais não incorporados no produto final têm que ser empregados na emissão de poluentes.

Leontief et al. (1977) modelaram energia e políticas ambientais dentro do ferramental I-O, dividindo a economia mundial em 50 regiões e 45 setores. Para cada região foram incluídos requerimentos de recursos, como requerimentos para energia, e atividades de abatimento de poluição. Todas as regiões foram ligadas através do comércio internacional. A conclusão mais importante atentou para o fato de que a disponibilidade de energia, assim como outros recursos e requerimentos para proteção ambiental não são um obstáculo insuperável para o crescimento econômico de países em desenvolvimento.

Os modelos de análise de bem-estar fornecem outro importante instrumento para mensuração de impactos econômicos. Quando aplicados às políticas de comércio e meio ambiente fornecem subsídios à tomada de decisão no que se refere à realocação de custos e benefícios entre nações. Esta metodologia leva em conta as mudanças dos excedentes do consumidor e do produtor a fim de indicar a direção do bem-estar de uma nação.

Na maioria das vezes a teoria prevê que os países se beneficiam com o comércio. Entretanto a teoria econômica assume que o conjunto de possibilidades de produção seja convexo para garantir a maximização da produção a preços mundiais. Acontece que, quando é levada em conta a poluição ambiental, esta suposição pode ser inapropriada uma vez que a produção de externalidades entre setores pode gerar um conjunto de possibilidades de produção não-convexo (Baumal e Bradford, 1972). Em outras palavras, se um país exporta bens intensivos em poluentes, a qualidade ambiental deste país se deteriorará. Assim, a perda de bem-estar social induzida pela deterioração ambiental pode superar os ganhos obtidos com o comércio.

A análise de bem-estar dos ganhos de comércio associado à degradação ambiental tem sido objeto de muitas aplicações. Por exemplo, Siebert (1977) e Siebert et al. (1980) adicionam à função de bem-estar social uma variável ambiental e utilizam estática comparativa para avaliação. Conclui-se que, se um país exporta bens menos intensivo em

poluentes, devido a uma melhora na qualidade ambiental, os ganhos de bem-estar do comércio são maiores que quando a qualidade ambiental é excluída da função de bem-estar. Por outro lado, se o país exporta bens intensivos em poluição, os ganhos do comércio são menores do que sob avaliações tradicionais (sem variáveis ambientais), ou até mesmo negativo, devido à perda de bem-estar resultante da degradação ambiental. Anderson(1992 a.) faz uma análise similar para um país pequeno e encontra a mesma conclusão. Para um país grande (com poder de alterar o preço de mercado mundial), se o mesmo importa um bem poluidor, os ganhos de bem-estar são inequívocos, porém menores do que o alcançado por um país pequeno devido ao aumento do preço de importação (efeito termos de troca).

Em modelos de teoria dos jogos com ambientes cooperativos, as negociações multilaterais e cooperação têm um importante papel na eficiência das políticas de comércio e ambientais, assim como os acordos internacionais de comércio e assuntos ambientais. Os modelos de jogos cooperativos podem fornecer um útil suporte teórico para o processo de negociação. Nesses modelos assume-se que os acordos são possíveis e que os jogadores (agentes) têm uma clara idéia do resultado que a cooperação proporcionará aos mesmos (Friedman, 1986). Soluções de equilíbrio cooperativo são consideradas resultados ótimos no sentido de Pareto, e muitos estudos têm corroborado essa teoria. Ou seja, os resultados cooperativos são mais eficientes do que os não-cooperativos [eg. Barrett (1997)].

Uma diversidade de especificações pode ser utilizada para utilização desses modelos de teoria dos jogos aplicados a assuntos ambientais e de comércio. Barrett (1997), por exemplo, desenvolveu um jogo de dois estágios com multijogadores, para examinar a capacidade das medidas de comércio no *enforcement* de acordos ambientais internacionais. Os jogadores são representados por N países simétricos (governos) e N firmas simétricas (uma firma por país). No primeiro estágio, os governos selecionam os padrões de abatimento, os quais as firmas devem concordar. No segundo, as firmas simultaneamente escolhem suas produções como resposta ao primeiro estágio. A cooperação pode ser incorporada no primeiro estágio; os padrões de abatimento em cada país são escolhidos para maximizar o benefício conjunto dos N países.

Já os modelos teóricos de jogos não-cooperativos são os mais populares nas aplicações ao comércio e ao meio ambiente. Isto ocorre porque, geralmente na prática, os

jogadores são “impedidos” de fazer acordos uns com os outros. Segundo Barrett (1994 a,b) e Carraro e Siniscalco (1993), a solução não-cooperativa ocorre porque os indivíduos maximizam seus benefícios individuais. Na ausência de uma autoridade supranacional que obrigue a uma solução cooperativa, vigora o problema do comportamento *free-riding* e o Dilema dos Prisioneiros, pois os auto-interesses dos agentes divergem. Ou seja, os governos buscam o bem-estar social, e as firmas perseguem a maximização de lucros.<sup>40</sup> Cada jogador está maximizando seu próprio benefício privado tendo em vista ação dos outros jogadores. A solução é obtida somente quando existe uma estratégia na qual nenhum jogador tem incentivo para desviar dela (Kreps, 1990).

Uma vez que o problema fundamental em economia é como fazer o melhor uso dos recursos econômicos, os modelos de otimização estão entre os mais importantes instrumentos na análise econômica. Se a política comercial pode ajudar a melhorar o bem-estar econômico mundial, de um lado, a política ambiental objetiva gerenciar e manter eficientemente os recursos naturais, de outro. Estes objetivos são parte importante do princípio de desenvolvimento sustentável.<sup>41</sup> Então, como devem ser combinadas as políticas de comércio e ambiental para se alcançar tal resultado? Ou seja, quais são as políticas ambientais e de comércio ótimas? De acordo com as técnicas de otimização utilizadas, os modelos de otimização podem ser divididos em modelos de otimização de cálculo, programação (linear e não-linear), teoria de controle ótimo e modelos teóricos de jogos diferenciais. Luptacik e Schubert (1982) construíram um modelo de otimização para decisão de investimento ambiental ótimo. O objetivo do estudo foi focado em descobrir a melhor alocação da produção entre consumo e investimento na capacidade produtiva e abatimento de poluição para maximizar uma função de bem-estar social.

Os modelos de equilíbrio espacial e preço (SPE) desenvolveram-se dos modelos neoclássicos. Samuelson (1952) foi o primeiro a dar ao SPE uma especificação de programação linear. Takayama e Judge (1964) e Takayama e Woodland (1970), mais

---

<sup>40</sup> O Dilema dos Prisioneiros é um conhecido jogo no qual dois prisioneiros parceiros em um crime são interrogados em locais separados. O resultado desse jogo não é Pareto eficiente, pois o incentivo (representado pela matriz de *payoffs*) para cada um deles é trair o outro.

<sup>41</sup> Entende-se por sustentável o desenvolvimento que garante a proteção da biodiversidade e o uso ecologicamente adequado dos recursos naturais, de forma a garantir a melhoria da qualidade de vida e de renda da população local, inclusive para as futuras gerações, contribuindo também para o desenvolvimento do país como um todo.

adiante, estenderam esse *approach* para incluir simultaneamente a determinação do preço em um instrumental temporal e espacial (STPE). Nesses modelos, os mercados são espacialmente separados, e os custos de transporte têm papel fundamental na resolução do problema. O equilíbrio é alcançado quando o preço de demanda iguala-se à soma dos custos de oferta e custos de transporte. Tendo em vista o custo de transporte, as funções de oferta e demanda nos mercados, o equilíbrio espacial encontra o preço de equilíbrio em todos os mercados.<sup>42</sup> Os modelos espaciais servem também como uma útil ferramenta para a análise do tripé: ambiente-energia-economia. Eles são geralmente uma integração de modelos de sistemas ambientais, de energia e economia nacional ou regional.<sup>43</sup>

Os modelos ou sistemas de informação geográfica (GIS) compreendem duas categorias. A primeira é considerada como a que acopla os modelos ambientais convencionais aos modelos GIS, onde este é utilizado como uma ferramenta de pré e pós-processamento. A segunda, ainda em desenvolvimento e, portanto, não ainda largamente reconhecida, utiliza GIS como a principal ferramenta ou linguagem para modelagem ambiental temporal e espacial. Os modelos da primeira categoria são apontados por Huang e Labys (2001-1), como os mais realísticos e mais bem-sucedidos.

As aplicações desses modelos têm-se concentrado nos relacionamentos entre o meio ambiente e a agricultura, mais especificamente sobre a mudança climática como decorrência da produção de grãos. Darwin et al. (1995) mudaram um pouco o foco desse tipo de pesquisa, combinando um GIS com um modelo CGE. O mundo foi dividido em oito regiões geográficas e foi utilizado o GIS para ligar o clima com as possibilidades de produção de produtos agrícolas nas oito regiões. O modelo CGE foi utilizado para determinar os efeitos de mudanças nas possibilidades de produção, comércio, e consumo de treze *commodities* agrícolas e não-agrícolas.

Os modelos econométricos de séries temporais também são apropriados para investigação das relações entre as atividades econômicas e o meio ambiente, pois a degradação ambiental é um processo dinâmico no tempo. Os modelos univariados servem para explicar o comportamento das variáveis com base em sua história temporal. Nesta categoria são incluídos os modelos com processos de média móvel auto-regressivos

---

<sup>42</sup> Para uma aplicação desses modelos, ver Labys et al. (1989) e van den Bergh et al. (1996).

<sup>43</sup> Ver, por exemplo, Lakahmanan e Bolton (1986).

(ARMA), ARMA integrados (ARIMA), e modelos de heterocedasticidade condicional auto-regressiva (ARCH).

Os modelos multivariados explicam o comportamento conjunto de duas ou mais variáveis no tempo. Estes podem capturar as interações de distintos aspectos entre as séries de tempo. Os modelos mais utilizados são os modelos causais, modelos de cointegração, modelos com vetor auto-regressivo (VAR), ARCH bivariado, e modelos dinâmicos de equações simultâneas.

Os modelos econométricos de séries temporais têm sido empregados com sucesso para investigar o relacionamento entre emissões de CO<sub>2</sub> e o uso de combustíveis fósseis e analisar a decomposição temporal e cíclica da concentração global de CO<sub>2</sub> e emissões Cohen, Labys e Eliste (2001). Além disso, esses modelos podem ser utilizados para analisar o comportamento temporal entre comércio e meio ambiente.

Um dos instrumentos econômicos que também tem sido amplamente utilizado recentemente (a partir dos anos 1990) para avaliar a questão do relacionamento do comércio internacional com o meio ambiente é o Equilíbrio Geral Computável.

### **1.3 Modelos de equilíbrio geral e o meio ambiente**

Os modelos de equilíbrio geral adotam uma solução que define uma situação econômica estável, nos quais a demanda e oferta são equalizadas em todos os setores. Os componentes básicos destes modelos são as preferências, descritas pelas funções utilidade dos consumidores; tecnologia, a qual define como os insumos são transformados em produtos; atividade, que são as ações que usam certas quantidades de insumos por unidade de operação; e as dotações que definem a propriedade inicial dos fatores e dos insumos. Esses modelos focalizam a interdependência dos mercados, possibilitando, desse modo, fazer inferências sobre os impactos de externalidades de políticas de comércio e ambientais sobre os custos de produção e bem-estar do consumidor.

### **1.3.1 Efeitos ambientais da abertura comercial**

Os modelos de equilíbrio geral, quando utilizados para avaliar os impactos da liberalização comercial sobre o meio ambiente, permitem contemplar uma série de importantes interações entre diferentes setores e países (no caso de um modelo global). Desde o trabalho de Grossman e Krueger (1991), tornou-se comum a decomposição do impacto ambiental do comércio em três elementos que interagem entre si: efeito composição, efeito escala e efeito técnica.

O efeito composição trata da especialização que é induzida pelo comércio internacional. Isso acontece devido aos benefícios inerente às economias de escala e à eficiência na produção preconizada pela teoria do comércio. Países que produzem uma grande variedade de produtos para satisfazerem sua demanda local, com o advento do comércio, tendem a se especializarem na produção de um subconjunto de produtos e importar outros. O efeito líquido sobre o meio ambiente será positivo se a especialização ocorrer em setores que são menos poluidores, na média, do que os setores que se contraem em função das importações e, negativo, se acontecer o contrário. Como os bens exportados por um país são os importados por outros, a totalidade dos países não poderá se especializar somente em indústrias consideradas “limpas”. Portanto, os problemas de poluição no mundo serão realocados pelo comércio internacional de acordo com as vantagens comparativas dos países nele inseridos.

Entende-se por efeito escala o aumento na poluição decorrente do crescimento da atividade econômica gerado pelo comércio. Tendo em vista a composição da produção e os coeficientes de poluição de cada indústria, o crescimento econômico poderá ser prejudicial ao meio ambiente. Associado a esse crescimento de renda, aumenta também o desejo da sociedade em demandar um ambiente mais limpo e saudável. Isso conduz os consumidores a desejar pagar por produtos produzidos dentro de padrões ambientais mais rígidos e, conseqüentemente, à criação de instituições e regulamentações capazes de coagir as empresas a internalizar os danos causados ao meio ambiente, através, por exemplo, de impostos, taxas, restrições e outras medidas regulatórias. O aumento de custo às indústrias

força-as a desenvolver tecnologias menos poluidoras, obtendo-se assim a redução de emissão de poluentes. A essa relação indireta entre aumento da renda e a adoção de novas tecnologias para redução da poluição dá-se o nome de efeito técnica.

Apesar da importância de se poder identificar a direção dos resultados individualmente através dos efeitos composição, escala e técnica, o que realmente importa é o resultado líquido. Se a demanda por qualidade ambiental aumentar mais que proporcionalmente com o aumento da renda, é possível que o efeito técnica neutralize o efeito escala. Entretanto, o resultado líquido ainda dependerá da direção do efeito composição.<sup>44</sup> A exposição a seguir ilustra como podem ser medidos esses três efeitos. Para modelar as mudanças projetadas para a economia da Indonésia, Strutt e Anderson (1999) criaram um módulo ambiental separadamente e o juntaram à parte do GTAP correspondente à Indonésia.<sup>45</sup>

Como comentado anteriormente, três fontes de efeitos ambientais de mudanças em políticas são identificadas: a mudança no nível da atividade econômica agregada (efeito escala); a mudança na contribuição de cada setor para o produto (efeito composição); e a mudança na tecnologia de produção (efeito técnica).

Seja (P) a variação total na poluição, a soma das variações na poluição de cada setor (P<sub>j</sub>):

$$P = \sum_{j=1}^n P_j \quad (1)$$

---

<sup>44</sup> Copeland e Taylor (1994) desenvolveram um dos primeiros estudos decompondo esses efeitos dentro de um modelo de comércio. Eles dividiram o mundo em dois conjuntos de países, Norte (desenvolvidos) e Sul (em desenvolvimento), produzindo uma série de produtos diferentes em intensidade de poluição. A principal conclusão foi que a liberação comercial diminuiria os problemas de poluição nos países desenvolvidos e aumentaria nos países em desenvolvimento.

<sup>45</sup> O *software* utilizado para esta modelagem foi o GEMPACK (*General Equilibrium Modelling Package*). O GEMPACK é um *software* próprio para modelagem econômica, especialmente utilizado em modelos de equilíbrio geral e parcial, produzido e distribuído pelo *Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University*.

A mudança na poluição em cada setor  $j$  é a soma do efeito escala ( $A_j^o$ ), do efeito composição intersetorial ( $C_j^o$ ), e o efeito tecnologia ( $T_j$ ):

$$P_j = A_j^o + C_j^o + T_j \quad (2)$$

O efeito escala decorrente do aumento da atividade econômica conduz a um aumento na demanda por todos os bens e serviços, e isto tem um efeito positivo sobre as emissões de poluentes. A mudança no produto devida ao efeito escala é a variação proporcional no produto real agregado da economia ( $g$ ) multiplicada pelo produto inicial em cada setor ( $X_j$ ). Isto resulta na variação na escala do produto em cada setor com todos os setores crescendo à taxa de crescimento agregado da economia. A alteração na escala do produto em cada setor é então multiplicada pelo coeficiente ambiental do mesmo ( $E_j^o$ ). Essa relação está representada pela equação (3), que fornece as respectivas variações em emissões ambientais devidas ao efeito escala.

$$A_j^o = X_j * g * E_j^o \quad (3)$$

Discorre-se agora sobre o efeito composição intersetorial. Visto que alguns setores são mais poluidores que outros, as alterações na composição do produto mudarão a poluição. O efeito composição intersetorial é mensurado mantendo-se constante o produto agregado em seu nível inicial e permitindo que a composição do produto mude, através da expansão de alguns setores e contração de outros. A variação no produto setorial devida ao efeito composição intersetorial ( $C_j^o$ ) é encontrada multiplicando-se, primeiramente, o produto inicial de cada setor ( $X_j$ ) pela diferença entre a respectiva variação proporcional no produto ( $x_j$ ) e a variação proporcional no produto da economia como um todo ( $g$ ). Este procedimento resulta na variação do tamanho relativo de cada setor que, por sua vez,

quando multiplicada pelo coeficiente ambiental inicial ( $E_j^o$ ), fornece a variação de emissões ambientais no setor, como mostrado na equação (4).

$$C_j^o = X_j * (x_{j-g}) * E_j^o \quad (4)$$

Para modelar o efeito técnica deve-se utilizar um conjunto de parâmetros ambientais que reflitam mudanças antecipadas nas técnicas produtivas. Geralmente, esses parâmetros refletem a opinião de especialistas sobre métodos de produção.<sup>46</sup> Mudanças tecnológicas alterarão a quantidade de degradação causada por cada unidade de produto em cada setor. A equação (5) ilustra como se pode obter tal efeito. As emissões geradas pelos novos e pelos antigos coeficientes devem ser comparadas. O primeiro colchete mostra a presença do novo coeficiente ambiental na atividade agregada e na composição intersetorial de mudanças no produto. O segundo reflete a idéia de que o produto inicial em cada setor também será obtido utilizando-se a nova tecnologia, e assim contribuirá para alterações na emissão de poluentes. Entretanto, quando é levada em conta as alterações de políticas comerciais provenientes dos acordos, deve-se assumir que a nova tecnologia está dada em uma base de dados apropriadamente atualizada. Assim, deve-se considerar que as reformas comerciais não alteram os novos coeficientes de dano ambiental (Strutt e Anderson, 1999).

$$T_j = [(A_j^n - A_j^o) + (C_j^n - C_j^o)] + [X_j * (E_j^n - E_j^o)] \quad (5)$$

onde,  $A_j^n = X_j * g * E_j^n$

e  $C_j^n = X_j * (x_{j-g}) * E_j^n$

Enfim, como acabou de ser mostrado, os impactos no meio ambiente decorrente da atividade econômica impulsionada pelo comércio internacional podem ser quantitativamente mensurados. Entretanto, do outro lado da via de mão dupla, pode-se

---

<sup>46</sup> Outros possíveis componentes do efeito técnica são discutidos por Fredriksson (1999).

fazer inferências também acerca dos efeitos sobre a competitividade e os padrões de comércio que as políticas ambientais podem causar.

### **1.3.2 Impactos da política ambiental sobre a competitividade**

As políticas ambientais podem atuar sobre a competitividade internacional dos países. Weyant e Hill (1999) dividem os modelos para avaliar as conseqüências das políticas de redução de emissões de carbono em duas dimensões: a representação da economia e a representação dos setores de energia e o processo de geração de carbono. Quanto aos primeiros, a representação varia de modelos muito simples, como uma função de produção ou custo agregado, a modelos de equilíbrio geral multissetoriais. No que se refere à representação do carbono/energia, as aplicações variam de simples aplicações de coeficientes de poluição (multiplicações de coeficientes de carbono por dólar no produto da indústria tal) a detalhados submodelos do setor de energia.

A análise econômica sugere que a utilização de políticas ambientais aumenta o custo de produção e, assim, reduz a possibilidade de especialização de países na produção de bens que exigem atividades poluidoras. Ou seja, como afirma Siebert (1977), países com políticas ambientais menos rígidas têm sua vantagem comparativa aumentada em bens ambientalmente sensíveis (bens produzidos em indústrias “sujas”). Entretanto, esta teoria padrão de comércio é desafiada por uma recente visão revisionista. Porter e van der Linde (1995) argumentam que políticas ambientais rígidas levam as firmas e a economia como um todo a tornarem-se mais competitivas, através do incentivo à inovação em tecnologias ambientais menos poluidoras. Os autores destacam casos de empresas que, forçadas por regulações mais exigentes, conseguiram reduzir seus custos de produção.<sup>47</sup>

Essa controvérsia também é um assunto que está longe de ser conclusivo e é mais uma questão que também necessita de maior investigação empírica. Através do

---

<sup>47</sup> A 3M, por exemplo, conseguiu economizar anualmente US\$120.000,00 em investimento de capital e US\$ 15.000,00 na substituição de solventes para a base de água.

instrumental de EGC é possível que se façam simulações para prever o impacto de políticas ambientais sobre a competitividade em setores que compõem o padrão de comércio dos países. A implementação dessas simulações geralmente pode ser feita através da construção de cenários onde são introduzidos “choques” em variáveis exógenas representativas de impostos sobre atividades que geram poluição. Os choques funcionam como desequilíbrios gerados exogenamente no modelo para que, endogenamente, as condições de equilíbrio se restabeleçam através da variação de preços, quantidades ofertadas e demandadas nos vários níveis da atividade econômica, como consumo privado, produção, poupança e gastos governamentais. O efeito final é obtido com a análise da variação do bem-estar em sua decomposição nos termos de troca e efeitos alocativos.

### **1.3.3 Modelos de Equilíbrio Geral Computável aplicados ao comércio e meio ambiente**

Uma proeminente vantagem de modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) reside na possibilidade de relacionar o ferramental teórico com uma base de dados consistente com o mundo real. É por isso que os modelos EGC têm sido frequentemente usados nestes tipos de estudo, por exemplo, Lee e Roland-Holst (1994), Perroni e Wigle (1994) e Dessus e Bussolo (1998). Estes modelos, que foram desenvolvidos a partir de modelos de planejamento com programação linear, descrevem o equilíbrio *walrasiano* com muitos bens e fatores, usando estruturas de mercado e produção baseados no comportamento otimizador dos produtores e consumidores. A teoria de equilíbrio geral empregada é a teoria do comércio, modelando economias abertas. A desvantagem desses modelos é sua complexidade na computação e dificuldade de validação.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Validação na linguagem dos modeladores de EGC envolve a simulação de situações reais do passado para efeito de comparação dos resultados.

É difícil de obter uma sistematização das aplicações dos modelos EGC ao tema comércio e meio ambiente, pois as suposições levantadas sobre essa questão para a utilização desse instrumental variam de trabalho para trabalho. Entretanto, pode-se observar que as análises predominam basicamente em dois pontos, como pode ser observado no Quadro 1.1 apresentado abaixo. Existem trabalhos que avaliam os impactos no meio ambiente que decorrem das políticas comerciais, enquanto que outros buscam estimar os efeitos econômicos advindos da implementação de políticas ambientais decorrentes da internalização dos impactos ambientais.

#### *Aplicações – literatura mundial*

Perroni e Wigle (1994) construíram um modelo EGC para a economia mundial com externalidades global e local para investigar os impactos do comércio internacional na qualidade do meio ambiente. Seus resultados mostraram que, apesar de o livre comércio ter um efeito negativo na qualidade ambiental, sua contribuição relativa para degradação ambiental é muito pequena. Os autores também encontraram que a magnitude dos efeitos das políticas ambientais no bem-estar não é significativamente afetada por mudanças nas políticas de comércio.

Dessus e Bussolo (1998) desenvolveram um modelo EGC para examinar se existe um *trade-off* entre a liberalização comercial e o abatimento de poluição na Costa Rica. Eles mostraram que a futura integração da Costa Rica com a economia mundial representa um grande risco de degradação ambiental se a mesma não for acompanhada por reformas institucionais voltadas à preservação do meio ambiente.

O modelo proposto por Perroni e Wigle em Hertel (1997) incorpora os benefícios do abatimento tecnológico.<sup>49</sup> Eles desenvolveram um modelo de equilíbrio geral numérico para a economia mundial com externalidades ambientais globais e locais, para examinar os

---

<sup>49</sup> Entende-se por abatimento tecnológico a redução do impacto da poluição sobre o meio ambiente decorrente de uma melhoria da técnica de produção.

efeitos do comércio na degradação do meio ambiente. Os países são agrupados dentro de categorias de alta, média e baixa renda, assumindo-se competição perfeita e imobilidade de capitais. De uma forma geral, a proposta de ligação entre o GTAP e o modelo proposto para a política ambiental pode ser ilustrada conforme na Figura 1.1.<sup>50</sup>

---

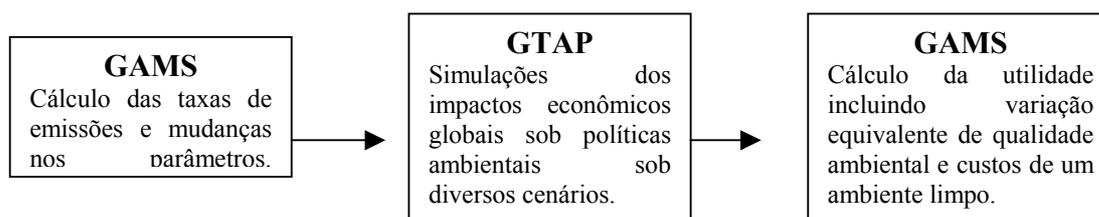
<sup>50</sup> Uma exposição mais detalhada do procedimento utilizado por Perroni e Wigle pode ser encontrada em Hertel (1997).

Modelo	Assunto/Tema
Perroni e Wigle (1994)	Impactos do comércio no meio ambiente
Dessus e Bussolo (1994)	<i>Trade-off</i> entre a liberalização comercial e o abatimento de poluição
Perroni e Wigle em Hertel (1997)	Efeitos do comércio na degradação do meio ambiente
Strutt e Anderson (1999)	Impactos dos acordos de comércio na água e no ar
Ferrantino (1999)	Efeitos da liberalização comercial na poluição manufatureira
Burniaux e Martins (2000)	Análise de sensibilidade dos parâmetros sobre o escape de carbono
Onno Kuit (2001)	Impactos da implementação do Protocolo de Quioto sobre o “escape de carbono” com e sem o livre-comércio e análise de sensibilidade nos parâmetros e suposições dos cenários
Buchner e Roson (2002)	Análise integrada de avaliação da adoção simultânea de internalização de externalidades ambientais com liberalização do comércio
Burniaux e Truong (2002)	Cenários para a implementação do Protocolo de Quioto.
Unteroberdoerter (2003)	Ganhos do comércio sob internalização da poluição e o deslocamento das indústrias sujas para os países em desenvolvimento devido a padrões ambientais mais baixos
Pant, Tulpulé e Fisher (2002)	Análise dos aspectos teóricos do modelo GTEM
Seroa da Motta (2003)	Impactos do comércio no meio ambiente
Tourinho et al. (2003)	Impactos econômicos de uma política ambiental

**Quadro 1.1 – Aplicações recentes de modelos EGC ao comércio e meio ambiente**

O programa *General Algebraic Modeling System* (GAMS) é utilizado para calcular os choques que são necessários para se alcançar uma dada combinação de taxas de emissão e abatimento. Estes choques são implementados dentro do GTAP, e as mudanças

resultantes no produto setorial e a variação equivalente da renda são utilizados como insumos dentro de uma terceira etapa. A última etapa, que também é implementada dentro do GAMS, consiste em calcular as mudanças de bem estar que são explicadas pela qualidade ambiental e custos de limpeza do meio ambiente.



**Figura 1.1 – Procedimento computacional para análise de política ambiental usando o GTAP**

Fonte: Hertel (1997).

Strutt e Anderson (1999), utilizando a base de dados do GTAP, analisaram os impactos dos acordos de comércio na água e no ar da Indonésia. Comparando dois cenários alternativos, os autores mediram os impactos ambientais resultantes da completa implementação dos acordos comerciais da Rodada do Uruguai em 2010 e do livre comércio das Nações Mais Favorecidas (NMF) pelos países da APEC (*Asian Pacific East Countries*) em 2020. O resultado geral foi que a reforma nas políticas de comércio na Indonésia nas próximas duas décadas melhoraria a qualidade do ar e da água, além de reduzir a depredação dos recursos naturais da Indonésia.

Ferrantino (1999) usa o GTAP para estimar os efeitos da liberalização comercial na poluição manufatureira. O estudo simula duas situações utilizando uma análise estática comparativa, com retornos constantes de escala e competição perfeita. A primeira se refere às mudanças na proteção alcançadas na Rodada do Uruguai, através da remoção das restrições voluntárias de exportação e quotas bilaterais; a segunda, através da retirada dos impostos de importação (mantendo restrições voluntárias e as e quotas) sobre

manufaturados e alguns produtos primários. O resultado mostrou que os efeitos técnica e composição mais que compensam o efeito negativo do aumento na escala de produção.

Burniaux e Martins (2000), utilizando o modelo GREEN da Organização para a Cooperação de Desenvolvimento Econômico (OCDE), discutem os principais determinantes utilizados para quantificar a magnitude dos escapes de carbono. Os autores do artigo chamam a atenção para a multidimensionalidade da análise de sensibilidade dos parâmetros sobre o escape de carbono. Ou seja, é preciso que se leve em conta a dependência entre os parâmetros (elasticidades de substituição) quando se promove uma análise de sensibilidade.<sup>51</sup> Os principais resultados encontrados no trabalho sugerem que a taxa de “escape” de carbono (LR- *leakage reate* na sigla em inglês) permanece pequena mesmo na presença de um alto grau de substituição em mercados não-energia (incluindo as indústrias intensivas em energia).<sup>52</sup> Subjacente ao escape de carbono nesse mercado está o fluxo de capital. Foi verificado que esse fluxo se dá em sentido contrário ao que preconiza a teoria quando as elasticidades de *Armington* são baixas e moderadas, ou seja, o capital migra dos países de fora em direção aos participantes do Anexo I. Quando o grau de substituição entre os bens não-energia é alto, o fluxo de capital segue o rumo normal (em direção aos países não integrantes do Anexo I).<sup>53</sup>

Nos mercados de energia, ainda conforme Burniaux e Martins (2000), o tamanho do escape de carbono é sensível à reação dos produtores de carvão em nível mundial. Quando a oferta de carvão é elástica, a LR é pequena.<sup>54</sup> A elasticidade da oferta de petróleo também afeta a LR, ainda que seja menos relevante comparativamente a do carvão. Se for tomada a sensibilidade da oferta de energia pouco intensiva em carbono, o resultado é menos relevante ainda. Quanto à influência da integração no mercado internacional de

---

<sup>51</sup> Os autores chamam a atenção para a enorme dificuldade de implementação de tal análise devido, sobretudo, a larga escala dos modelos de EG. Assim o trabalho retém sua análise somente em interações bidimensionais, ou seja, dois parâmetros, tornando possível a interpretação da taxa de escape de carbono como uma função de um par de parâmetros em um espaço tridimensional.

<sup>52</sup> Portanto, a escolha das suposições sobre as elasticidades de *Armington* e modelos do tipo H-O é irrelevante para explicar diferenças em LR entre os modelos.

<sup>53</sup> Entretanto, sugerem os autores, mesmo com um irrealístico grau de substituição entre esses produtos associada a uma completa mobilidade de capitais, o efeito escape de carbono é ainda modesto.

<sup>54</sup> O resultado é intuitivo. Se a oferta é totalmente inelástica o ajustamento se dá exclusivamente nos preços. Assim uma redução no consumo de carbono nos países do Anexo I deverá se refletir em uma queda acentuada no nível de preços mundiais, o que aumentará o consumo de energia nos países de fora do Anexo I. No caso extremo de uma oferta completamente inelástica, a LR será 100%.

carvão, o estudo encontrou que a mesma depende da elasticidade de oferta de carvão que, por sua vez, afeta positivamente a LR.<sup>55</sup> Enfim, taxas de escape dependem fortemente da suposição feita para a elasticidade de oferta de carvão e petróleo.

Onno Kuit (2001) investigou os impactos da implementação do Protocolo de Quioto sobre o “escape de carbono” com e sem o livre-comércio (Rodada do Uruguai), utilizando o GTAP-E (Energia). A problemática da pesquisa enfocou o dilema das PHH versus FEH já comentada anteriormente no item 1.2. Foram realizados três experimentos constituindo, assim, três cenários. O primeiro (cenário referência) retratou a economia em 2010 assumindo crescimento dos fatores de produção e progresso técnico com base em Hertel et al.(2000). No segundo experimento são implementadas as metas estabelecidas no Protocolo. No terceiro, ocorre, de forma simultânea, a implementação do Protocolo de Quioto e a Rodada do Uruguai.

Adicionalmente é feita uma análise de sensibilidade nos parâmetros e suposições dos cenários. Os resultados obtidos apontam que a redução de carbono nos países do Anexo I apresenta certo vazamento para os países em desenvolvimento, onde os maiores ajustamentos se dão nos setores produtores de energia, principalmente no de carvão. No que diz respeito à liberalização comercial, o autor evidencia que o escape de carbono é positivo, porém pequeno. Ele atribui esse fato mais à redução dos preços da energia do que à realocação da indústria. Quanto à competitividade industrial, existe um encorajamento a uma estrutura industrial intensiva em CO<sub>2</sub> na maioria dos países da OECD, fato este que não suporta a PHH. A hipótese de dotação de fatores (FEH), por sua vez, não foi corroborada nem descartada nesse exercício, pois o resultado não é conclusivo. Os efeitos nas regiões dos países não pertencentes ao Anexo I são variáveis entre as regiões e países. Finalmente, as análises de sensibilidade mostram que os resultados foram robustos mesmo variando a suposição nas políticas e parâmetros do modelo. O estudo mostra ainda que é de crucial importância fazer-se uma suposição de integração internacional no mercado de carvões.

Para analisar o conflito de interesses nas negociações que envolvem o tema comércio e meio ambiente no âmbito da Organização Mundial do Comércio (OMC),

---

<sup>55</sup> Pode-se dizer que, quanto maior a elasticidade de substituição do comércio de carvão, mais integrado é esse mercado e vice-versa.

Buchner e Roson (2002) implementam uma análise integrada de avaliação de dois impactos, ou seja, a adoção simultânea de internalização de externalidades ambientais com liberalização do comércio.<sup>56</sup> Utilizando um modelo teórico bem simples de Heckscher-Ohlin -Samuelson (H-O-S), com dois países, duas indústrias (uma suja) e um recurso (em cada país), os autores mostram, através de uma matriz de *pay-offs* de elasticidades de renda equivalente, que a *first best* solução seria a eliminação das barreiras ao comércio e a introdução de impostos sobre externalidades em ambos os países. A seguir, o mesmo experimento é testado empiricamente com o GTAP, e os resultados qualitativos são significativamente alterados. Para os autores, as principais causas das diferenças encontradas do modelo teórico para o empírico devem-se às baixas elasticidades de substituição, pelos deslocamentos da produção de bens intensivos em carbono, e a ausência do efeito “imposto de exportação” que justifica o uso de imposto sobre carbono como uma arma protecionista. Isto ocorre porque, no modelo GTAP, os padrões de consumo nos dois países são diferentes, devido ao maior peso dado por um país ao seu próprio produto. Portanto, a distorção doméstica provoca uma variação positiva nos seus termos de troca.

Em Burniaux e Truong (2002) são feitas importantes mudanças na teoria do GTAP padrão para a avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> via queima de combustíveis fósseis. Nessa versão do GTAP, chamado GTAP-E, é incluída uma descrição mais detalhada das possibilidades de substituição entre as diferentes fontes de energia (carvão, petróleo, gás natural e derivados de petróleo e carvão). Além disso, o modelo incorpora emissões de carbono e um mecanismo de comércio internacional dessas emissões.<sup>57</sup> São simulados três cenários para a implementação do Protocolo de Quioto. O primeiro cenário não permite o comércio de permissões de emissões.<sup>58</sup> No segundo, é permitido o “comércio” dentro do

---

<sup>56</sup> Os autores destacam o abismo existente entre as perspectivas de estratégias dos ambientalistas e defensores do livre comércio. Por um lado, os primeiros vêem o livre comércio como principal demônio responsável pela deterioração ambiental e, portanto, as barreiras ao comércio aparecem como uma estratégia no sentido de coibir a poluição. De outro, os *free traders* alegam que os acordos ambientais têm o poder de deslocar as vantagens comparativas de certas indústrias e regiões impactando, dessa forma, o comércio internacional. Contra este argumento, os ambientalistas alegam que o custo de abatimento da poluição é baixo e, portanto, não afeta os termos de troca e vantagens comparativas. De novo, cabe ressaltar que essa dúvida pode ser dirimida somente através da investigação empírica.

<sup>57</sup> O GTAP-E foi desenvolvido especialmente para simular políticas de abatimento de emissões dos gases do efeito estufa.

<sup>58</sup> No Protocolo de Quioto é permitido o uso “mecanismos de flexibilidade” para que os países constantes no Anexo I possam realocar as reduções de emissões e, conseqüentemente, a meta seja alcançada conjuntamente. Entre os países do Anexo I, esses mecanismos são chamados de “Comércio de Emissões” e “Implementação

Anexo I. No terceiro cenário, chamado de caso “comércio mundial”, é assumido que as emissões de carbono são comercializadas no mercado mundial sem qualquer restrição. De uma forma geral, os resultados dessas simulações apontam que o custo de implementação do Protocolo é menor quando são utilizados os mecanismos de flexibilidade.

Unteroberdoerter (2003) traz para o contexto da liberalização do comércio entre os países membros da *Asian Pacific East Countries* (APEC) a problemática que envolve o tema comércio e meio ambiente. Utilizando o instrumental EGC através de um modelo de comércio multipaíses estático e incorporando um submodelo ambiental baseado em Perroni e Wigle (1994), ele investiga os ganhos do comércio quando são internalizadas as perdas decorrentes da poluição e a questão do deslocamento das indústrias sujas para os países em desenvolvimento devido a padrões ambientais mais baixos. Quatro principais resultados são obtidos através das simulações. O primeiro sustenta que sob um cenário de regulação ambiental tipo “comando e controle”, a política comercial tem somente pequenos efeitos sobre a poluição. Já para o segundo, a liberação do comércio pode até mesmo reduzir a poluição em países com padrões ambientais menos rígidos, devido a anterior proteção das indústrias intensivas em poluição.<sup>59</sup> Terceiro, quanto à poluição decorrente do consumo, ocorre um efeito estabilizante nos níveis totais de poluição. Finalmente, o autor observa que os resultados sugerem que barreiras ao comércio são menos efetivas e menos eficientes para controlar problemas ambientais do que a regulação ambiental doméstica.

Pant, Tulpulé e Fisher (2002) utilizam o *Global Trade and Environment Model* (GTEM) com três propósitos.<sup>60</sup> O primeiro foi derivar uma versão intertemporal através da imposição do comportamento intertemporalmente otimizador dos agentes na alocação da renda entre consumo e poupança e dos investidores na determinação do nível acumulação de capital. O segundo foi demonstrar a aplicabilidade do método descrito em Pant (2002b)

---

Conjunta”. Entre os países não-Anexo I, o instrumento recebe o nome de “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”, onde é permitido que os primeiros reduzam suas emissões nesses últimos através de investimentos em projetos ambientais.

<sup>59</sup> Neste caso, baixo padrão ambiental parece não gerar vantagem comparativa.

<sup>60</sup> O GTEM é um modelo dinâmico da economia global multissetorial e multirregional desenvolvido a partir do GTAP (Hertel, 1997) pelo *Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics* (ABARE). Suas principais diferenças com relação a este último são a utilização de uma “cesta” tecnológica para as indústrias intensivas em energia, um módulo que gera mudanças endógenas na população e oferta de trabalho, um módulo que gera emissões da produção de alguns produtos e uso de combustíveis fósseis, e as relações entre acumulação de capital, dívida e população. Essa última característica é o que o torna dinâmico.

de um modelo de equilíbrio geral intertemporal no GEMPACK com uma base de dados de um simples período não *steady state*. O terceiro propósito foi verificar as propriedades de *steady state* do modelo. Os autores utilizaram a base de dados do GTAP versão 5 com agregação de seis regiões e 24 setores e foi simulado para 23 períodos, 20 com intervalos de cinco anos, e três períodos com intervalos de um ano, cobrindo ao todo o período de 1997 até 2100. Nesse exercício, população e oferta de trabalho são tratadas como exógenas. Os principais resultados mostraram que as taxas de crescimento dos principais agregados econômicos como, PIB, PNB, estoque de capital e investimento convergem para as taxas de crescimento da oferta de trabalho, recursos naturais e terra (variáveis exógenas). Adicionalmente, o teste de convergência mostrou que não houve diferença quando as suposições para as expectativas foram alteradas.

#### *Aplicações para o Brasil*

Embora os impactos ambientais decorrentes de acordos comerciais e vice-versa já sejam um tema bastante pesquisado em nível mundial, no Brasil, essa abordagem pode ser considerada ainda incipiente. Uma excelente resenha dos trabalhos relacionados a esse tema na América Latina é feita em Braga e Miranda (2002); mais especificamente, quando se trata dessa problemática para Brasil, utilizando o instrumental de EGC tem-se ainda menos trabalhos aplicados. Entretanto, devem ser destacados os esforços dos pesquisadores do IPEA nesse sentido.

Seroa da Motta (2003) utilizou os resultados obtidos na simulação de Tourino e Kume (2002) para medir os impactos macroeconômicos e setoriais da liberação do comércio no âmbito da ALCA sobre o meio ambiente brasileiro.<sup>61</sup> O método utilizado pelo primeiro consistiu na multiplicação dos coeficientes de poluição e uso dos recursos naturais às variações agregada e setorial na produção, exportação e importação. Os principais resultados obtidos apontam que os impactos diretos agregados são em geral bem pequenos

---

<sup>61</sup> Esses últimos utilizam um modelo EGC estático *walrasiano* com competição perfeita.

e na direção de mais baixa intensidade na poluição do ar e nos usos de energia, e mais alta intensidade na poluição e usos da água e nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Para avaliar os impactos econômicos de uma política de tributação sobre emissões de CO<sub>2</sub> na economia brasileira, Tourinho et al. (2003) adaptam o modelo de Tourino e Andrade (1998) através da inserção de um vetor de intensidade de poluição contendo coeficientes de poluição setoriais. São realizadas simulações retratando três cenários: taxação de 3, 10 e 20 dólares por tonelada de carbono emitida por setor produtivo. De uma forma geral, os resultados apontam para uma redução no nível de emissões de carbono; transferência dos setores mais intensivos em carbono para os menos intensivos; queda na renda das famílias e no PIB; e aumento do investimento. Os autores destacam que as variações dos valores das taxas geraram apenas pequenas alterações com relação ao cenário-base, embora na direção esperada.

#### **1.4 Considerações finais**

Neste capítulo foi mostrado que o tema comércio e meio ambiente é ainda relativamente novo no contexto econômico mundial e está muito longe de ser considerado uma matéria que dispensa novos trabalhos acadêmicos. Existem ainda muitas controvérsias sobre essa relação conflituosa que estão a exigir que se façam mais estudos aplicados. As hipóteses de dotação de fatores (HDF) e de portos de poluição (HPP) são exemplos claros de controvérsias nas quais está inserida a questão do comércio internacional e o aquecimento global e, conseqüentemente, a emissão de gases do efeito estufa e o Protocolo de Quioto.

A ciência econômica fornece vários instrumentos para análise do tema comércio e meio ambiente e, neste trabalho, foram apresentados alguns dos mais aplicados na literatura mundial. Dentre essas técnicas foi dada ênfase especial aos modelos de equilíbrio geral computável, cujas aplicações mais recentes foram apresentadas. No próximo capítulo

apresenta-se o modelo que será utilizado para as simulações que serão efetuadas neste trabalho, o GTAP-E de Burniaux e Truong (2002).

## **2 DESCRIÇÃO DO MODELO E BASE DE DADOS**

O instrumento utilizado neste trabalho para a execução das simulações dos cenários é o modelo de equilíbrio geral computável GTAP-E, que é uma versão modificada do GTAP. Não se tem a intenção de descrever detalhadamente o modelo GTAP cuja teoria já está muito bem documentada em Hertel (1997). Entretanto, serão apresentadas algumas características importantes, tanto do modelo GTAP padrão quanto do GTAP-E para que suas principais diferenças possam ser exibidas. Adicionalmente, serão feitas algumas observações sobre as características que se julgam importantes sobre a base de dados da versão 5.4 do GTAP. Essas observações referem-se especificamente a base de dados de energia, parâmetros e dados de emissão de CO<sub>2</sub>. Também serão explicadas algumas modificações necessárias na base de dados à adequação deste modelo à agregação utilizada neste trabalho.

### **2.1 Uma visão geral do GTAP**

O GTAP surgiu de uma versão feita pela Comissão de Indústria do Governo Australiano, o modelo SALTER (Jomini et al., 1991). Esse modelo que, inicialmente, tinha como objetivo servir para as negociações de comércio pelo governo australiano foi incorporado pela Universidade de Purdue no início dos anos 1990. Desde então ele tem sido constantemente melhorado e seus dados atualizados. A disponibilidade pública que é feita desse modelo e de sua base de dados tem contribuído para atualização dos dados de produção, comércio e proteção, além de também servir para aperfeiçoar a teoria através dos seus usuários e as respectivas simulações e análises desenvolvidas pelos mesmos.

O GTAP é um modelo padrão multirregional de equilíbrio geral aplicável que assume retornos constantes de escala e competição perfeita nas atividades de produção.<sup>62</sup> O funcionamento da economia global do GTAP pode ser explicado por meio da análise de uma região arbitrária e seus relacionamentos com as outras regiões, através da imposição de condições de equilíbrio entre os agentes globais. Em cada região (conjunto REG, Tabela A.1 do anexo A) existem  $j$  indústrias (PROD\_COMM) utilizando  $i$  fatores primários (ENDW\_COMM) e  $i$  insumos intermediários (TRAD\_COMM), tanto produzidos localmente quanto importados. Os fatores primários são de propriedade dos agentes domésticos (representado por um “agente regional”), que também recebem todas as receitas de impostos recolhidas na região e fazem todas as transferências para o resto do mundo.

Os agentes alocam suas rendas para o consumo privado, consumo do governo (através do financiamento de todos os gastos do governo) e poupança. O governo utiliza os recursos disponibilizados pelo agente regional para comprar bens e serviços (domésticos e importados). Um sistema tributário impõe os impostos em cada transação e repassa a receita para o agente via transferências *lump sum*. Os exportadores compram mercadorias a preços de mercado, pagam impostos de exportação para o sistema tributário e vendem bens para um “comerciante global”.

Os comerciantes globais compram os bens dos exportadores das regiões exportadoras e vendem para os importadores das regiões importadoras. Nesta transação, os mesmos utilizam um serviço de transporte fornecido pelo “setor de transportes global”. Os importadores compram produtos produzidos ao redor do mundo dos comerciantes globais, pagam tarifas de importação para o governo local e vendem as mercadorias importadas aos vários agentes domésticos a preços de mercado.

Podem-se ilustrar essas relações acima através de uma matriz de contabilidade social (MCS), na medida em que ela mostra todas as fontes de renda e como todos os itens de gastos exaurem as rendas de todos os agentes em todas as regiões.<sup>63</sup> O Quadro 2.1 ilustra uma região arbitrária e seus relacionamentos com as outras regiões através da

---

<sup>62</sup> Recentemente, no entanto, tem sido incorporada a competição imperfeita ao modelo GTAP (p. ex. François, 1998), embora isto demande informações adicionais.

<sup>63</sup> A condição de lucro zero impõe que, quando todos os agentes satisfazem suas restrições orçamentárias, a renda total de cada agente deverá ser igual ao seu gasto.

imposição de condições de equilíbrio entre os agentes globais. As entradas nas linhas identificam os recebimentos de nove agentes regionais e três agentes globais, enquanto que as entradas nas colunas indicam os pagamentos efetuados por esses agentes. Na coluna (1), por exemplo, vê-se que as indústrias gastam VDFM (valor dos gastos domésticos das firmas a preços de mercado), comprando insumos de fontes domésticas e fazem pagamentos aos fatores empregados na produção EVFM (valor da dotação dos fatores pago pelas firmas a preços de mercado), aos importadores pelos insumos intermediários importados VIFM (valor dos gastos com importados pelas firmas a preços de mercado), e pagam impostos (ou recebem subsídios) na compra de insumos e venda do produto.<sup>64</sup>

Somando-se todos os pagamentos nesta coluna obtém-se:<sup>65</sup>

$$VOM(j, r) = \sum_{i \in \text{TRAD\_COMM}} [VDFA(i, j, r) + VIFA(i, j, r)] + \sum_{k \in \text{ENDW\_COMM}} EVFA(k, j, r) \quad (1)$$

$\forall j \in \text{PROD\_COMM}$  e  $r \in \text{REG}$ , onde VOM (valor do produto a preços de mercado) representa o custo total da indústria j na região r.

Na linha (1) da MCS, observa-se que as indústrias vendem sua produção para o seu próprio uso intermediário, para os agentes domésticos privados (famílias), para o governo, para o setor exportador, para os investidores, e os serviços de transportes para o setor de transporte global, recebendo em troca, respectivamente, as quantias VDFM, VDPM, VDGM, VXMD, INV e VST (valor das vendas do *commodity* i para o setor de transporte internacional a preços de mercado), perfazendo um total de:

<sup>64</sup> A nomenclatura adotada no GTAP segue a seguinte convenção: a primeira letra pode ser V (valor) ou E (*endowment*); a segunda letra, D (doméstico) ou I (importado); a terceira O (produto do vendedor ou produtor) ou P (comprador privado), G (governo) e F (firmas) e, finalmente; a quarta letra A (preços de agente), M (preços de mercado) e W (preço mundial – diferença entre os preços *FOB e CIF*). Uma completa descrição destes fluxos pode ser encontrada no glossário de Hertel (1997).

<sup>65</sup> A diferença entre os fluxos avaliados a preços de agente (A) e o correspondente fluxo avaliado a preços de mercado (M) representa os impostos ou subsídios. Por exemplo,  $VDFA(i, j, r) - VDFM(i, j, r) = \text{impostos pagos pela indústria } j \text{ na região } r \text{ na compra do insumo } i \text{ de fonte doméstica.}$

MCS	Indústrias (1)	Fatores (2)	Agente (3) Doméstico	Governo (4)	Tributos (5)	Exportador (6)	Importador (7)	Corretor (8) Financeiro	Investidor (9)	Comerciante Global (10)	Transporte Global (11)	Financeiro Global (12)	Total
Indústrias (1)	VDFM (VDFA)		VDPM (VDPA)	VDGM (VDGA)		VXMD			INV		VST		VOM
Fatores (2)	EVFM (EVFA)												EVFM
Agente (3) Doméstico		EVOA			Todas receitas impostos							FY	PIB
Governo (4)			VGA										VGA
Tributos (5)	Impostos s/insumos + Impostos s/ produtos	Impostos s/ a renda	Todos os impostos s/ o consumo privado	Todos os impostos s/ o consumo do governo		Impostos s/ exportação	Impostos s/ importação						Todas as receitas de impostos
Exportador (6)										VXWD			VXWD
Importador (7)	VIFM (VIFA)		VIPM (VIPA)	VIGM (VIGA)									VIMS
Corretor (8) Financeiro			SAVE									[INV-SAVE] ou 0	INV ou SAVE
Investidor (9)								INV					INV
Comerciante Global (10)							VIWS						VIWS
Transporte Global (11)										VTWR			VTWR
Financeiro Global (12)								0 ou [SAVE – INV]					SAVE – INV
Total	VOM (VOA)	EVFM	PIB	VGA	Todas as receitas de Impostos	VXWD	VIMS	INV ou SAVE	INV	VIWS	VST	[INV+SAVE] + FY	MCS

**Quadro 2.1 – Matriz de contabilidade social estilizada para uma região**

Fonte: Pant (2002).

$$\begin{aligned}
VOM(i, r) = & \sum_{j \in \text{PROD\_COMM}} VDFM(i, j, r) + VDPM(i, r) + VDGM(i, r) + \\
& + \sum_{s \in \text{REG}} VXMD(i, r, s) + \delta_i VST(i, r)
\end{aligned} \tag{1a}$$

Onde  $\delta_i = 1$  se  $i$  é uma margem e zero no caso contrário.<sup>66</sup>

As equações abaixo representam as outras condições lucro zero. A equação (2), por exemplo, revela que os fatores recebem EVFM (apesar de as indústrias terem custos EVFA) e utilizam essa renda para efetuar pagamentos EVOA para os agentes domésticos proprietários destes fatores, mais os impostos sobre suas rendas para o sistema tributário. Por sua vez, na equação (3), os agentes domésticos recebem, além da renda acima, todas as receitas do sistema tributário mais as transferências líquidas do exterior (incluindo renda de juros). Essa receita totaliza o Produto Interno Bruto (PIB) pelo lado renda que é alocada no consumo privado (VDPA+VIPA), gasto do governo VGA e poupança (SAVE). Enfim, este processo de recebimentos e pagamentos continua pelas equações (4), (5), (6) e (7) e pode ser visualizado no Quadro 2.1 pelas correspondentes linhas e colunas na MCS.

$$\sum_{j \in \text{PROD\_COMM}} EVFM(i, j, r) = EVOA(i, r) + impostos \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{I \in \text{ENDW\_COMM}} EVOA(i, r) + impostos + FY(r) = PIB \\
PIB = & \sum_{i \in \text{TRAD\_COMM}} [VDPA(i, r) + VIPA(i, r)] + VGA(r) + SAVE(r)
\end{aligned} \tag{3}$$

---

<sup>66</sup> A condição de lucro zero implica que  $VOM(i, r) = TC(i, r)$  para cada indústria  $j$  e região  $r$ .

$$VGA(r) = \sum_{I \in \text{TRAD\_COMM}} [VDGA(i, r) + VIGA(i, r)] \quad (4)$$

$$\text{Receita do sistema tributário} = \text{transferência } lump \text{ sum} \quad (5)$$

$$VXWD_{s \in REG}(i, r, s) = VXMD(i, r, s) + imp.s / \text{exp ortação}(i, r, s) \quad (6)$$

$$\forall i \in \text{TRAD\_COMM}, \quad r \in \text{REG} \quad e \quad s \in \text{REG}$$

$$VIMS_{r \in REG}(i, s, r) = VIWS(i, s, r) + imp.s / \text{importação}(i, s, r) \quad (7)$$

$$\forall i \in \text{TRAD\_COMM}, \quad r \in \text{REG} \quad e \quad s \in \text{REG}$$

Os investidores em cada país/região decidem o quanto investir em um dado período levando em conta as taxas de retorno esperada de seus investimentos, financiando esse investimento via emissão de títulos. Os “corretores de investimentos” em cada região compram os títulos dos investidores locais, vendendo parte desses para os demandantes locais e o restante no mercado mundial. A oitava linha da MCS mostra as fontes de renda do “corretor financeiro” da região sob análise. O mesmo recebe poupança (SAVE) dos agentes domésticos como pagamento pelos títulos que ele intermediou com os investidores (INV na linha 9 e coluna 8 da MCS) e a diferença (INV-SAVE) do centro financeiro global pelos títulos vendidos (comprados) no mundo (intermediados na célula 12-8). A condição de lucro zero implica que<sup>67</sup>:

---

<sup>67</sup> O saldo do corretor financeiro, tanto pelo lado da renda quanto pelo do gasto, será SAVE se existir excesso de poupança, e INV para o de investimento.

$$SAVE(r) + \max\{0, [INV(r) - SAVE(r)]\} = INV(r) + \max\{0, [SAVE(r) - INV(r)]\} \quad (8)$$

$$INV(r) = INV(r) \quad (9)$$

$$VOM(i, r) = \sum_{j \in PROD\_COMM} VDFM(i, j, r) + VDPM(i, r) + VDGM(i, r) + \sum_{s \in REG} VXMD(i, r, s) + \delta_i VST(i, r) \quad (1a)$$

Onde  $\delta_i = 1$  se  $i$  é uma margem e zero no caso contrário.<sup>68</sup>

As equações abaixo representam as outras condições lucro zero. A equação (2), por exemplo, revela que os fatores recebem EVFM (apesar de as indústrias terem custos EVFA) e utilizam essa renda para efetuar pagamentos EVOA para os agentes domésticos proprietários destes fatores, mais os impostos sobre suas rendas para o sistema tributário. Por sua vez, na equação (3), os agentes domésticos recebem, além da renda acima, todas as receitas do sistema tributário mais as transferências líquidas do exterior (incluindo renda de juros). Essa receita totaliza o Produto Interno Bruto (PIB) pelo lado renda que é alocada no consumo privado (VDPA+VIPA), gasto do governo VGA e poupança (SAVE). Enfim, este processo de recebimentos e pagamentos continua pelas equações (4), (5), (6) e (7) e pode ser visualizado no Quadro 2.1 pelas correspondentes linhas e colunas na MCS.

$$\sum_{j \in PROD\_COMM} EVFM(i, j, r) = EVOA(i, r) + impostos \quad (2)$$

---

<sup>68</sup> A condição de lucro zero implica que  $VOM(i,r) = TC(i,r)$  para cada indústria  $j$  e região  $r$ .

$$\sum_{I \in \text{ENDW\_COMM}} \text{EVOA}(i, r) + \text{impostos} + \text{FY}(r) = \text{PIB}$$

$$\text{PIB} = \sum_{i \in \text{TRAD\_COMM}} [\text{VDPA}(i, r) + \text{VIPA}(i, r)] + \text{VGA}(r) + \text{SAVE}(r) \quad (3)$$

$$\text{VGA}(r) = \sum_{I \in \text{TRAD\_COMM}} [\text{VDGA}(i, r) + \text{VIGA}(i, r)] \quad (4)$$

$$\text{Receita do sistema tributário} = \text{transferência } \textit{lump sum} \quad (5)$$

$$\text{VXWD}(i, r, s) = \text{VXMD}(i, r, s) + \text{imp.s} / \text{exp ortação}(i, r, s) \quad (6)$$

$$\forall i \in \text{TRAD\_COMM}, \quad r \in \text{REG} \quad e \quad s \in \text{REG}$$

$$\text{VIMS}(i, s, r) = \text{VIWS}(i, s, r) + \text{imp.s} / \text{importação}(i, s, r) \quad (7)$$

$$\forall i \in \text{TRAD\_COMM}, \quad r \in \text{REG} \quad e \quad s \in \text{REG}$$

Os investidores em cada país/região decidem o quanto investir em um dado período levando em conta as taxas de retorno esperada de seus investimentos, financiando esse investimento via emissão de títulos. Os “corretores de investimentos” em cada região compram os títulos dos investidores locais, vendendo parte desses para os demandantes locais e o restante no mercado mundial. A oitava linha da MCS mostra as fontes de renda do “corretor financeiro” da região sob análise. O mesmo recebe poupança (SAVE) dos agentes domésticos como pagamento pelos títulos que ele intermediou com os investidores

(INV na linha 9 e coluna 8 da MCS) e a diferença (INV-SAVE) do centro financeiro global pelos títulos vendidos (comprados) no mundo (intermediados na célula 12-8). A condição de lucro zero implica que<sup>69</sup>:

$$SAVE(r) + \max\{0, [INV(r) - SAVE(r)]\} = INV(r) + \max\{0, [SAVE(r) - INV(r)]\} \quad (8)$$

$$INV(r) = INV(r) \quad (9)$$

Esses nove agentes locais entram em transação com o resto do mundo através dos agentes globais nas linhas/colunas (10), (11) e (12) da MCS. O mercado de comércio exterior é equilibrado pelo “comerciante global” que paga VXWD para o exportador regional e VTWR para o setor de transporte pelo custo de transporte (margem) para a entrega do produto no seu destino. Estes pagamentos somam VIWS (preço *FOB* mais custos de transporte) que é exatamente a quantia recebida pelo comerciante global dos importadores da região.<sup>70</sup> O setor de “transporte global” que, por sua vez, recebeu VTWR pelo transporte das mercadorias para seus destinos, paga VST para a indústria prestadora deste serviço dentro da região. As equações (10) e (11) mostram as condições de lucro zero para estes dois setores:<sup>71</sup>

$$VIWS(i, s, r) = VXWD(i, s, r) + \sum_{m \in \text{MARG\_COMM}} VTWR(m, i, s, r) \quad (10)$$

<sup>69</sup> O saldo do corretor financeiro, tanto pelo lado da renda quanto pelo do gasto, será SAVE se existir excesso de poupança, e INV para o de investimento.

<sup>70</sup> Note que a região que exporta uma mercadoria não é a mesma que a compra, assim a ligação das células VXWD e VIWS deve ser compreendida globalmente.

<sup>71</sup> A soma VIWS na linha – o pagamento feito por importadores da região  $r$  para o comerciante global - não é a mesma soma na coluna VIWS, que é a soma das exportações da região  $r$  para todas as regiões de destino  $s$  (VXWD) e o associado custo de transporte internacional  $\sum VTWR(m, i, s, r)$ .

$$\sum_{r \in REG} VST(m, r) = \sum_{i \in TRAD\_COMM} \sum_{s \in REG} \sum_{r \in REG} VTWR(m, i, s, r) \quad (11)$$

O mercado de títulos é equilibrado através da relação com um centro financeiro global, onde os títulos ofertados em várias regiões são considerados substitutos perfeitos<sup>72</sup>. O centro financeiro global permite que os “corretores” financeiros regionais comprem e vendam os títulos no mercado global em benefício das famílias e dos investidores regionais. Adicionalmente, o centro financeiro global facilita a tomada de empréstimos internacionais pelas regiões e transfere os rendimentos para as regiões credoras. Pode-se observar na linha (12) da MCS que o centro financeiro global recebe rendas das regiões que têm excesso de poupança sobre o investimento - o máximo entre zero e (SAVE – INV) - e efetua pagamentos para regiões que investem mais do que poupam. Como a quantia de dinheiro recebido de uma região pelo centro financeiro global não é a mesma quantia que o mesmo paga para esta mesma região (e vice-versa), acontece uma acumulação de créditos ou débitos internacionais que é representado pela entrada FY na coluna (12).<sup>73</sup> A condição de lucro zero deste setor por sua vez é:<sup>74</sup>

$$\sum_{r \in REG} \max\{0, [INV(r) - SAVE(r)]\} = \sum_{r \in REG} \max\{0, [SAVE(r) - INV(r)]\} \quad (12)$$

---

<sup>72</sup> Uma vez que o banco global reuniu todas as poupanças regionais há duas abordagens pelas quais o banco pode alocar os investimentos regionais. A primeira chamada de composição regional fixa assume que a composição regional do estoque de capital global fica inalterada na simulação. Desta forma, os investimentos regionais e globais se movem juntos, e as taxas de retorno em cada região serão diferentes. O segundo mecanismo (componente da taxa de retorno) é uma abordagem de investimento alternativa nas quais as taxas de retorno são idênticas em todas as regiões. O investimento depende na taxa esperada de retorno no período seguinte, que declina assim que o estoque de capital aumenta. Os investimentos são alocados de forma que alterações na taxa esperada de retorno sejam equalizadas entre as regiões.

<sup>73</sup>  $\sum_{r \in REG} FY(r) = 0$ , uma vez que por definição o pagamento de uma região é a renda da outra.

<sup>74</sup> Portanto, o mercado financeiro global se equilibra quando todas as regiões do modelo são consideradas no conjunto,  $\sum_{r \in REG} SAVE(r) = \sum_{r \in REG} INV$ .

### 2.1.1 Estrutura de produção

O modelo usa uma estrutura de “ninho” de três níveis na especificação da função de produção, conforme ilustrado na Figura 2.1.<sup>75</sup> No topo, a função de produção assume substitutibilidade zero entre os fatores primários de produção e os insumos intermediários (tecnologia de Leontief).<sup>76</sup> Assim, o *mix* ótimo de fatores primários é independente dos preços dos insumos intermediários, enquanto o *mix* ótimo de insumos intermediários não varia com o preço dos fatores primários.<sup>77</sup>

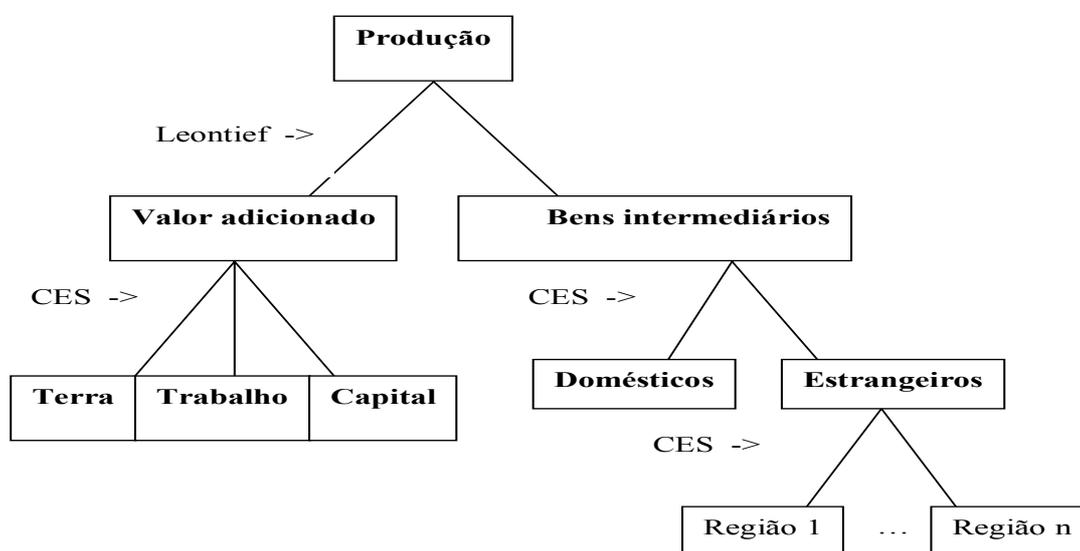


Figura 2.1 - Estrutura de produção do modelo GTAP padrão

Fonte: Hertel (1997).

<sup>75</sup> Cada grupo de funções refere-se ao ninho (subdivisões) da “árvore” tecnológica invertida.

<sup>76</sup> A forma funcional *Constant Elasticity Substitution* (CES) foi derivada por Arrow et al.(1961) a partir do conceito da elasticidade de substituição. Uma função CES é uma função com elasticidade de substituição constante amplamente utilizada tanto com funções de produção como de utilidade em modelos EGC. Com os argumentos  $X = (X_1, \dots, X_n)$ , a função  $F(X) = A[\sum_i a_i X_i^\rho]^{1/\rho}$ , onde  $a_i, A$  são constantes positivas e  $\sigma = 1/(1-\rho)$  é a elasticidade de substituição. A tecnologia Leontief é um caso particular de uma CES com elasticidade de substituição igual a zero.

<sup>77</sup> Os fatores de produção que têm mobilidade entre os setores são capital, mão-de-obra qualificada e não-qualificada. O grau de mobilidade dos fatores de produção é governado por uma elasticidade de transformação constante. Terra e recursos naturais são os fatores de produção imóveis.

O segundo nível envolve uma elasticidade de substituição constante tanto entre os insumos como entre os fatores de produção. Assume-se que os insumos importados são diferenciados por origem, assim como os insumos domésticos são discriminados em relação aos importados. Isto é, as firmas inicialmente determinam o *mix* ótimo de insumos domésticos e importados e somente depois decidem a respeito da origem das importações (hipótese de *Armington*).<sup>78</sup> O nível mais baixo do ninho também assume uma elasticidade de substituição constante entre insumos importados de diferentes origens.

Cada nível das funções de utilidade e produção compreende dois tipos de equações: equação agregada de preços (13), e um conjunto de equações de demandas condicionais (14). Assumindo-se uma função de produção com somente dois insumos, resolvendo-se o problema de minimização de custos do produtor e descartando-se os termos associados às mudanças técnicas, as duas equações podem ser expressas na sua forma linear. Do problema de minimização:

$$\underset{q_1, q_2}{\text{Min}} p_1 q_1 + p_2 q_2$$

$$\text{Sujeito a } y = \alpha (\delta_1 x_1^{-\rho} + \delta_2 x_2^{-\rho})^{\frac{1}{\rho}}$$

Obtém-se:<sup>79</sup>

$$\hat{c} = \theta_1 \hat{p}_1 + (1 - \theta_2) \hat{p}_2$$

(13)

$$\hat{q}_1 = \hat{y} - \sigma (\hat{c} - \hat{p}_1)$$

(14)

Onde:

---

<sup>78</sup> A estrutura de preferências de *Armington* implica que um bem produzido em uma região é um substituto imperfeito para bens produzidos pela mesma indústria em outras regiões. Ou seja, a mesma *commodity*, de diferentes fontes, pode ser comercializada a preços diferentes.

<sup>79</sup> Gohin e Hertel (2003) fornecem a derivação completa das equações (13) e (14) a partir do problema de minimização de custos do produtor.

- $\hat{\cdot}$  denota mudanças proporcionais;
- $q_i$ : insumo, onde  $i=1,2$ ;
- $p_i$ : preço do insumo;
- $y$ : produção;
- $c$ : custo unitário;
- $\sigma$ : elasticidade de substituição constante;
- $\theta$ : parcela dos insumos nos custos;
- efeito expansão =  $\hat{y}$ , i.e., o efeito da mudança no nível de produção;
- efeito substituição =  $\sigma(\hat{c}_i - \hat{p}_i)$ , i.e., o efeito da mudança nos preços relativos dos insumos.

Mesmo quando o número de insumos é superior a dois, a forma das equações acima não se altera. Aplicando-se estas fórmulas para o ninho agregado das importações (o nível mais baixo das funções de produção e utilidade), obtém-se a equação 13.1, que explica a mudança percentual no preço agregado das importações, e a equação 14.1, que determina a fonte das importações:

$$pim(i, s) = \sum_{k \in REG} MSHRS(i, r, s) \times pms(i, r, s) \quad (13.1)$$

$$qxs(i, r, s) = qim(i, s) - \sigma_M(i) \times [pms(i, r, s) - pim(i, s)] \quad (14.1)$$

e

$$MSHRS(i, r, s) = \left( \frac{VIMS(i, r, s)}{\sum_{r \in REG} VIMS(i, r, s)} \right)$$

Onde:

- $p_{im}(i,s)$ : preço de mercado das importações agregadas  $i$  na região  $s$ ;
- $p_{ms}(i,r,s)$ : preço doméstico do bem  $i$  fornecido pela região  $r$  para a região  $s$ ;
- MSHRS: a parcela de mercado da região  $r$  nas importações agregadas do bem  $i$  na região  $s$  avaliado a preços de mercado;
- VIMS  $(i,r,s)$ : valor das importações do bem  $i$  da região  $r$  para a região  $s$  avaliado a preços de mercado do exportador;
- $q_{xs}(i,r,s)$ : exportações do bem  $i$  da região  $r$  para a região  $s$ ;
- $q_{im}(i,s)$ : importações agregadas do bem  $i$  na região  $s$ , ponderado pelos preços de mercado;
- $\sigma_M(i)$ : elasticidade de substituição de importação do bem  $i$ .

O preço doméstico do bem  $i$  fornecido pela região  $r$  para a região  $s$  ( $p_{ms}$ ) é diretamente afetado tanto pelas mudanças nas tarifas de importação promovida pelo país importador ( $t_{ms}$ ) como pelo preço cif das importações ( $pcif$ ), como descrito abaixo:

$$p_{ms}(i,r,s) = t_{ms}(i,r,s) + pcif(i,r,s)$$

(15)

### 2.1.2 Estrutura de consumo

Em relação à função de utilidade, o modelo usa uma estrutura de ninho em quatro níveis. O nível mais elevado da demanda final é governado por uma função de utilidade agregada do tipo Cobb-Douglas, onde a renda é destinada ao consumo privado, aos gastos do governo e à poupança. Portanto, cada uma destas categorias apresenta uma parcela

fixa na renda total.<sup>80</sup> Uma vez que a mudança nos gastos foi determinada, o próximo passo consiste em alocá-los entre os bens agregados. Isto é feito no segundo nível do ninho de demanda, onde as despesas do governo são ditadas por uma função Cobb-Douglas, enquanto os gastos privados agregados são modelados por uma forma funcional não-homotética CDE (*constant difference elasticity*).<sup>81</sup> Esta forma de função de utilidade implica que sucessivos aumentos nos consumos privados de determinados bens ou serviços não geram necessariamente melhorias equi-proporcionais no bem-estar econômico.<sup>82</sup>

Assim que a demanda agregada por importações é determinada, o restante das árvores de utilidade de ambos, governo e setor privado, é análogo ao segundo e terceiro níveis da demanda das firmas por insumos intermediários, sendo baseada em uma função de utilidade com elasticidade de substituição constante. A única diferença entre a demanda por importações agregadas entre firmas e famílias refere-se às suas respectivas parcelas nas importações. Em consequência, os setores (e famílias) que são mais intensivos no uso de importações serão mais afetados pelas mudanças nas tarifas de importação.

A seguir apresentam-se as principais mudanças feitas no GTAP padrão para que fosse possível incorporar os aspectos de substituição de energia.

---

<sup>80</sup> Entretanto, há alguma discricionariedade sobre a alocação dos gastos no modelo. As compras governamentais e a poupança, por exemplo, podem ser usadas como variáveis exógenas, onde os gastos privados das famílias se ajustariam para satisfazer a restrição do orçamento regional.

<sup>81</sup> O emprego de uma forma funcional do tipo CDE deve a sua posição intermediária entre uma forma não-homotética da função CES e uma forma totalmente flexível, e a facilidade de se calibrar esse tipo de função quando são disponibilizados dados sobre renda e elasticidades-preço da demanda. Para maiores detalhes ver Hertel et. al. (1991).

<sup>82</sup> Uma função homotética é uma transformação monotônica de uma função homogênea de grau 1. Ou seja  $f(x)$  é homotética se e somente se ela pode ser escrita como  $f(x)=g(h(x))$  onde  $h(\cdot)$  é homogênea de grau 1 e  $g(\cdot)$  é uma função monotônica (Varian, 1992).

## 2.2 O GTAP aplicado ao meio ambiente

O GTAP-E (energia) foi projetado para analisar assuntos relacionados ao uso de energia e impactos de políticas de mudança climática. Ele difere do modelo GTAP padrão principalmente pelo aspecto particular da substituição entre combustíveis e entre combustível e demais fatores de produção. Como o GTAP-E (Burniaux e Truong, 2002) é um modelo que pertence à família de modelos GTAP, ele possui a mesma estrutura teórica padrão (competição perfeita e retornos constantes de escala na produção), porém, com uma estrutura de produção que inclui uma descrição mais detalhada das possibilidades de substituição de uso entre as diferentes fontes de energia. A forma escolhida para incorporar a substituição de energia dentro do GTAP segue a aproximação de modelos *top down*.<sup>83</sup> O GTAP-E utiliza uma base de dados que, além dos fluxos e parâmetros usualmente utilizados pelo GTAP padrão, incluem elasticidades de substituição para o uso das *commodities* energia e quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> gerados pela queima dos combustíveis fósseis como carvão, petróleo cru e gás natural, como também os produtos derivados do petróleo e geração de eletricidade.

### 2.2.1 Estrutura de produção

A estrutura de produção do GTAP-E é adaptada de várias proposições feitas por modelos de EGC que incluem a característica de substituição de energia.<sup>84</sup> No nível superior da Figura 2.2, governada por uma função Leontief, existe uma proporção fixa combinando o valor adicionado e bens intermediários. Com relação à estrutura de

---

<sup>83</sup> Modelos *top down* (econômicos) como o GREEN (Burniaux et al., 1992) ou BMR (Babiker, Maskus e Rutherford, 1997), começam com uma detalhada descrição da estrutura da economia macro. Desta, são derivadas as demandas dos insumos energia em termos da demanda pelos vários setores produtivos em funções de custo ou de produção altamente agregadas. Esses modelos, segundo Burniaux e Truong (2002), apesar de não incorporarem o tratamento detalhado da tecnologia envolvida para produzir energia (como os modelos *bottom-up*) trazem a vantagem da especificação comportamental das funções de produção.

<sup>84</sup> Modelo CETM de Rutherford et al. (1997), MEGABARE de ABARE (1996), modelo GREEN da OCDE e BMR.

produção padrão do modelo original GTAP, a primeira modificação se refere à retirada do insumo “energia” do “ninho” dos insumos intermediários e a sua posterior inclusão no ninho do valor adicionado.<sup>85</sup>

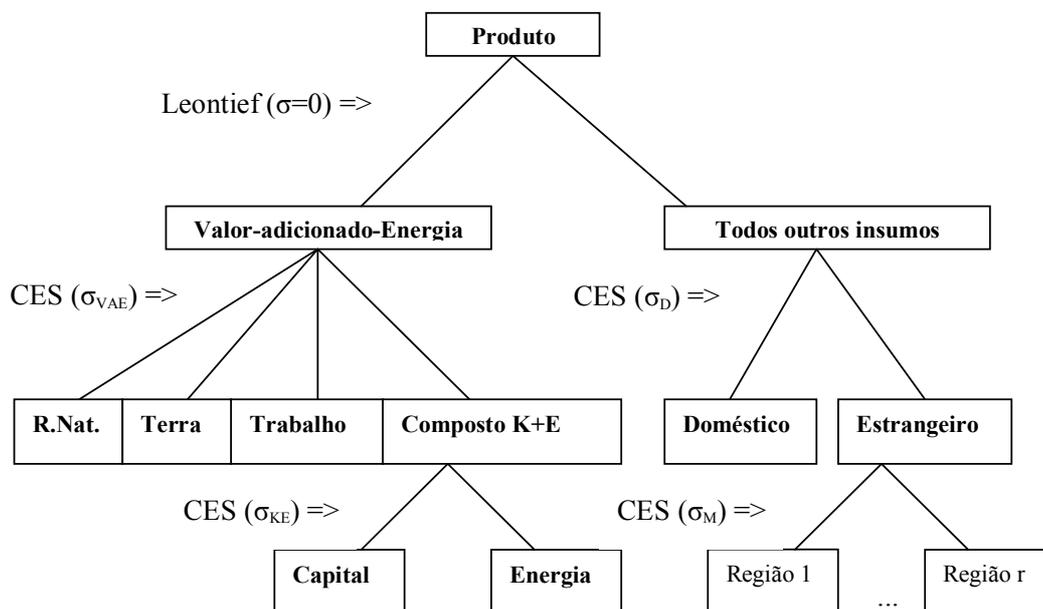
Como pode ser observado na Figura 2.2, a nova formação da estrutura de produção tem agora um ninho chamado de “valor-adicionado-Energia”, onde duas funções CES compõem este nível: as equações ENDWDEMAND (demanda pelos fatores de produção terra, recursos naturais e trabalho) e KEDEMAND (demanda pelo composto capital/energia).<sup>86</sup> Uma importante modificação deste modelo em relação ao original, que deve ser destacada, é a possibilidade de a elasticidade de substituição neste ninho ( $\sigma_{VAE}$ ) poder assumir valores diferentes para as diferentes regiões do modelo. Para o Brasil, por exemplo, o modelo foi calibrado com valores iguais a quatro para o carvão e 1,26 para derivados do petróleo e eletricidade.<sup>87</sup>

---

<sup>85</sup> O insumo “energia”, quando não utilizado diretamente como fonte de energia, mas sim transformado para tornar-se parte de outro produto, permanece no ninho dos insumos intermediários.

<sup>86</sup> As fórmulas das equações da estrutura de produção encontram-se no Quadro A.7 no anexo A deste trabalho.

<sup>87</sup> Calibrar um modelo EGC significa atribuir valores numéricos aos parâmetros das equações para a adequação da base de dados. Ou, colocado de outra forma, os parâmetros da uma economia virtual (no computador) devem ser calibrados de tal forma que o equilíbrio reproduza as transações observadas nos dados (Kehoe e Kehoe, 1994).



**Figura 2.2 – Nova estrutura de produção do GTAP (GTAP-E)**

Fonte: Burniaux e Truong (2002).

No próximo ninho, também através de uma estrutura CES ( $\sigma_{KE}$ ), encontra-se o composto capital-energia.<sup>88</sup> Uma questão particularmente importante destacada por Burniaux e Truong (2002) na construção de uma estrutura de produção para representar possibilidades de substituição entre alternativas fontes de energia, é a questão de complementaridade ou substitubilidade entre capital e energia. Essa possibilidade revela se o produto crescerá ou diminuirá como função de um aumento de preço da energia.<sup>89</sup> Teoricamente, devido ao tempo necessário para a mudança nos preços surtir efeito, a substitubilidade é considerada um fenômeno de longo prazo. O efeito total deste composto (*outer nest*) é dado pela combinação das elasticidades  $\sigma_{VAE}$  e  $\sigma_{KE}$ .<sup>90</sup> Neste

<sup>88</sup> Equações KDEMAND e ENDEMAND no Anexo A.

<sup>89</sup> Empiricamente, não existe um consenso quanto ao sinal e magnitude desse parâmetro.

<sup>90</sup> Entretanto, a elasticidade de substituição entre capital e energia pode ser negativa se a do nível acima (Valor-adicionado-Energia) for maior (Borge e Goulder, 1984). De acordo com Keler (1980), o relacionamento entre a elasticidade de substituição de fora com a de dentro do ninho é dada por:  $\sigma_{KE} - outer = [\sigma_{KE} - inner - \sigma_{VAE}] / S_{KE} + \sigma_{VAE} / S_{VAE}$ , onde *outer*=fora e *inner*=dentro e *S*=share.

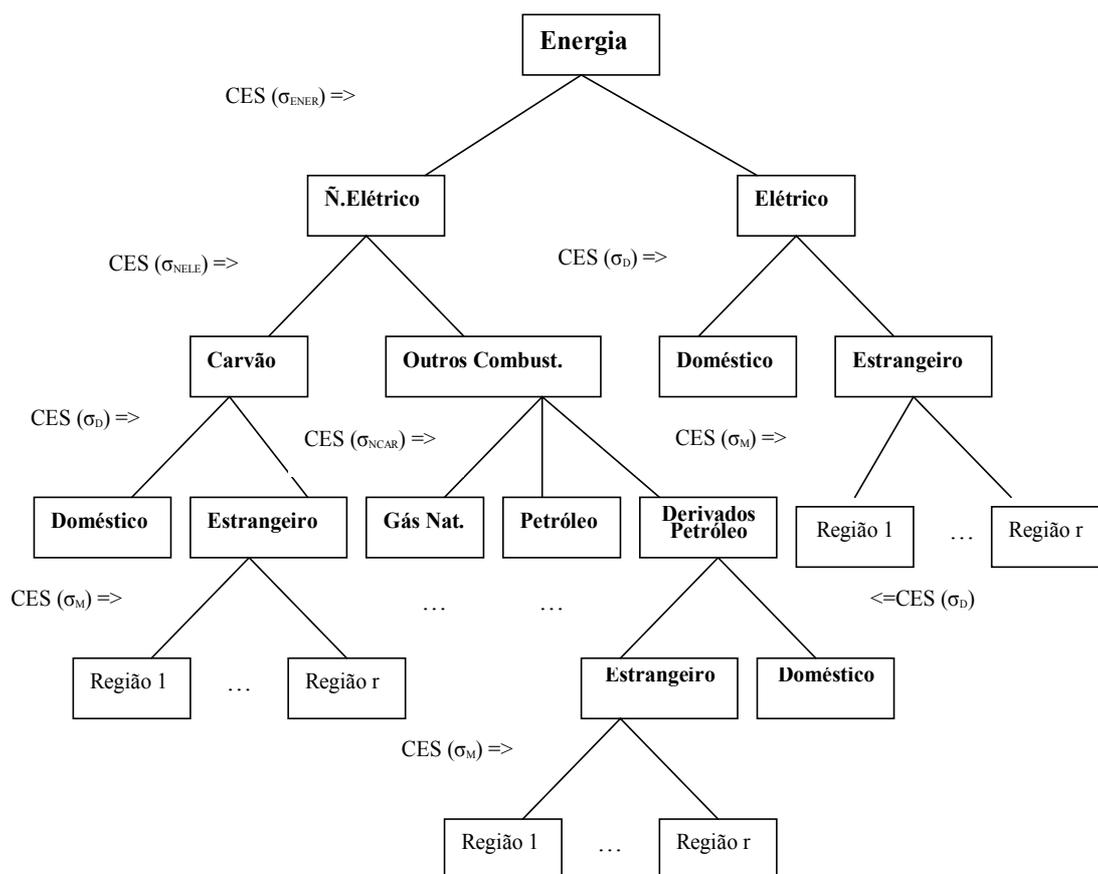
modelo, é assumido que a elasticidade de substituição entre capital e o composto de energia é positiva, ou seja, existe substituição no interior do ninho.

Na Figura 2.3, na subdivisão seguinte da estrutura de produção, o composto de energia da estrutura de produção é separado em grupos elétrico e não-elétrico. Neste último, também governado por uma função CES ( $\sigma_{NELE}$ )<sup>91</sup>, é permitido algum grau de substituição entre estes grupos, como mostrado no Quadro 2.2. O setor não-elétrico, por sua vez, subdivide-se em carvão, cuja fonte pode ser doméstica ou externa ( $\sigma_D$ ) e em outros combustíveis (equação NCOALDEMAND com elasticidade de substituição  $\sigma_{NCAR}$ ). Finalmente, no nível mais baixo (governado pela equação INTDEMAND), têm-se mais três grupos que se originam de outros combustíveis, estes são: gás natural, petróleo e combustíveis derivados de petróleo e carvão,<sup>92</sup> onde cada um desses combustíveis é escolhido de acordo com a suposição das elasticidades de *Armington*.

---

<sup>91</sup> Equação NELYDEMAND.

<sup>92</sup> Elasticidade ELFU na base de dados.



**Figura 2.3 – Estrutura de substituição entre fontes de energia**

Fonte: Burniaux e Truong (2002).

Neste momento, cabe destacar a importância de incluir a substitubilidade entre todos esses grupos mencionados acima. Dentre as boas razões, Burniaux e Oliveira Martins (2000) destacam que as taxas de “escape de carbono” seriam reflexos de complexas interações entre mercados de energia e não-energia. Assim, permitir a possibilidade de substituição entre esses mercados possibilita que os recursos produtivos sejam realocados de acordo com as mudanças em seus preços relativos. Essa situação pode ocasionar alterações substanciais nos resultados quando o ajustamento de preços e quantidades são alcançados no longo prazo, comparativamente ao modelo GTAP padrão. Portanto, como destacam os autores, fazer uma avaliação da magnitude dos parâmetros que governam essa substituição através de análise de sensibilidade (fazer os parâmetros mudarem dentro de um intervalo preestabelecido) é de fundamental importância para se

medir a eficácia dos abatimentos de emissões previstos pelo Protocolo de Quioto. A Tabela 2.1 mostra as elasticidades de substituição que calibram a funções desta estrutura de produção no modelo GTAP-E.

**Tabela 2.1 – Parâmetros utilizados para calibrar o modelo GTAP-E (produção)**

Elasticidades	$\sigma_D$	$\sigma_M$	$\sigma_{KE}$	$\sigma_{ENER}$	$\sigma_{VAE(*)}$	$\sigma_{NELE}$	$\sigma_{NCAR}$
<b>Setores</b>							
Agropecuário	2,41	4,64	0,5	1	0,03	0,5	1
Carvão	2,8	5,6	0	0	4,0	0	0
Petróleo cru	30	30	0	0	0,4	0	0
Gás natural	2,8	5,6	0	0	0,04	0	0
Produtos derivados de petróleo e carvão	1,9	3,8	0	0	1,26	0	0
Eletricidade	2,8	5,6	0,5	1	1,26	0,5	1
Ind. Intensivas em Energia	2,32	4,57	0,5	1	1,19	0,5	1
Outras Indústrias e serviços	2,26	5,83	0,5	1	1,36	0,5	1

Notas:  $\sigma_D$  – elasticidade de substituição entre as *commodities* domésticas e importadas (elasticidades de Armington);  $\sigma_M$  - elast. de subst. entre importados;  $\sigma_{KE}$  - entre capital e o composto energia;  $\sigma_{ENER}$  – entre os grupos elétrico e não-elétrico;  $\sigma_{VAE}$  – entre os insumos primários recursos naturais, terra, trabalho, e o composto capital-energia;  $\sigma_{NELE}$  - entre carvão e outros combustíveis fósseis;  $\sigma_{NCAR}$  – entre outros combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e derivados de petróleo e carvão).

(\*) Para o Brasil.

Fonte: Base de dados do GTAP-E.

Outra questão que merece destaque aqui é a magnitude das elasticidades de *Armington*. A importância dessas elasticidades deve-se ao mecanismo de transmissão entre os mercados de não-energia, pois, dependendo da sua magnitude, o fluxo de comércio pode deslocar a produção de bens intensivos em energia para países que não promovem abatimento de emissões de CO<sub>2</sub>. Comparando os valores das elasticidades de

*Armington* entre domésticos e importados ( $\sigma_D$ ) e entre a alocação de importações dentre as regiões ( $\sigma_M$ ), percebe-se que a única alteração significativa é verificada na elasticidade para petróleo cru, que, no modelo original, é de 2,8 e no GTAP-E é de 30,0.<sup>93</sup> No Brasil estas elasticidades foram estimadas recentemente por Tourinho, Kume e Pedroso (2003). Entretanto, a agregação dos setores utilizada por estes autores difere da que será utilizada neste trabalho. Os setores petróleo, gás natural, carvão e outros combustíveis, por exemplo, são agrupados em um único setor e possui elasticidade de 6,29 no trabalho daqueles autores.<sup>94</sup>

### 2.2.2 Estrutura de consumo

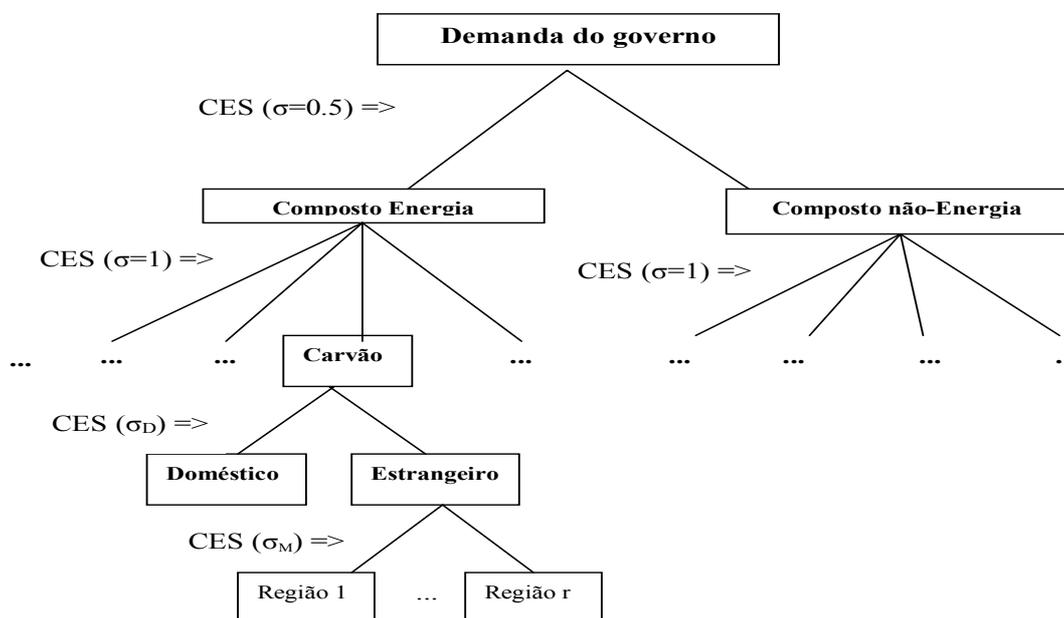
Pelo lado do consumo, o GTAP-E tem basicamente a mesma estrutura do GTAP padrão, ou seja, consumo de governo (consumo por domésticos de bens fornecidos publicamente) comandado por uma função Cobb Douglas para todas as commodities e o consumo privado por uma forma funcional CDE. Entretanto, o GTAP-E possui algumas peculiaridades que devem ser ressaltadas. Primeiro, o consumo do governo é agora dividido em dois “compostos”, um com commodities de energia e outro não. Segundo, é que a elasticidade de substituição entre as commodities no interior do composto de energia (inner) precisa ser diferente da elasticidade externa ao composto (outer), e essa última diferente de um, tal como ilustrado na Figura 2.4.95 Essa é uma condição para que a estrutura do GTAP-E não fique equivalente a do modelo padrão e, dessa forma, permita substituição entre e dentro dos subgrupos energia e não-energia. Os critérios adotados para calibrar estas funções foram baseados nos trabalhos de Rutherford et al. (1997) e Bohringer e Pahlke (1997).

---

<sup>93</sup> Entretanto, para  $\sigma_M$  foi verificado também uma pequena diferença nesses valores para as indústrias intensivas em energia (5,28 contra 4,57) e outras indústrias e serviços (5,71 contra 5,83) comparado o modelo original com o GTAP-E, respectivamente.

<sup>94</sup> Para a verificação das possíveis alterações no uso de energia e emissões de CO<sub>2</sub> em função dessas elasticidades será feito posteriormente uma análise de sensibilidades nesses parâmetros.

<sup>95</sup> Ou seja,  $\sigma_{inner} \neq \sigma_{outer} \neq 1$ .

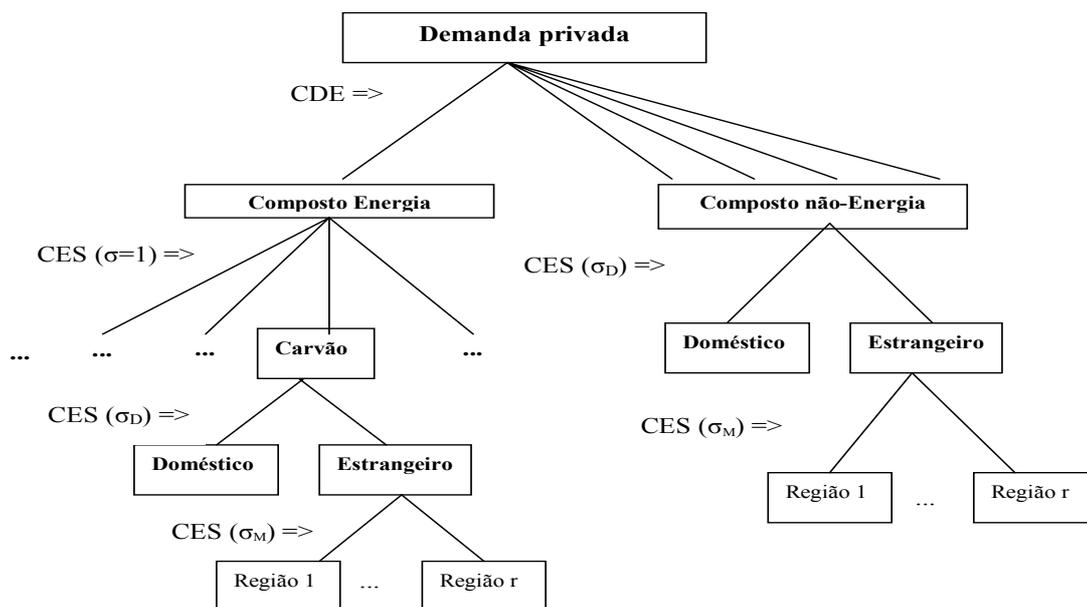


**Figura 2.4 – Estrutura de consumo do governo**

Fonte: Burniaux e Truong (2002).

Para o consumo de bens privados é utilizado o expediente de desagregar o grupo de commodities de energia (carvão, petróleo cru, eletricidade, gás natural, e derivados de petróleo e carvão) da estrutura padrão existente de forma funcional CDE, e posteriormente agregá-lo em um novo composto (Composto Energia na Figura 2.5). Isto somente é possível porque os parâmetros de substituição e renda do modelo para o grupo de commodities de energia são basicamente os mesmos para esses produtos, como exemplificado na Tabela 2.2.<sup>96</sup> Esta é uma condição necessária imposta pela teoria de estruturas CDE para que essas commodities possam ser agregadas com os mesmos parâmetros que os componentes individuais. Posteriormente, para esse composto é especificada uma subestrutura CES para permitir uma flexível substituição entre os seus elementos.

<sup>96</sup> Com exceção para os produtos derivados de petróleo e carvão.



**Figura 2.5 – Estrutura do consumo privado**  
 Fonte: Burniaux e Truong (2002).

**Tabela 2.2 – Exemplos de elasticidade de substituição e renda (consumo)**

Setores	Regiões(*)		Brasil		EUA		RMER		RALCA		EU	
	$\sigma_{\text{sub}}$	$\sigma_{\text{renda}}$										
Agropecuário	0,8	0,35	0,65	0,09	0,8	0,13	0,84	0,39	0,8	0,07		
Carvão	0,58	0,97	0,22	0	0,49	0,74	0,65	1,01	0,26	0,46		
Petróleo cru	0,58	0,97	0,22	0	0,48	0,71	0,7	0,95	0,27	0,47		
Gás natural	0,58	0,97	0,22	0	0,48	0,71	0,64	0,97	0,27	0,45		
Produtos derivados de petróleo e carvão	0,45	1,33	0	1,34	0,33	1,12	0,55	1,33	0,11	0,84		
Eletricidade	0,58	0,97	0,22	0	0,49	0,75	0,67	0,96	0,27	0,43		
Ind. Intensivas em Energia	0,45	1,33	0	1,34	0,33	1,11	0,55	1,32	0,11	0,82		
Outras Indústrias e serviços	0,55	1,01	0,08	1,01	0,38	1,03	0,62	1,03	0,17	1,05		

Fonte: Base de Dados do GTAP-E.

Nota:  $\sigma_{\text{sub}}$  = elasticidade de substituição;  $\sigma_{\text{renda}}$  = elasticidade-renda.

(\*) A agregação completa correspondente a todas as regiões do modelo encontra-se no item 2.4, Quadro 2.3.

### 2.2.3 Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões são calculadas com base na variação do uso dos combustíveis fósseis em unidades físicas (toe – toneladas de petróleo equivalente) e as associadas emissões de CO<sub>2</sub> (toneladas de carbono) nos setores considerados na agregação do modelo. Entre dois estados de equilíbrios, os dados relativos à emissão são atualizados tomando-se a variação percentual do crescimento de CO<sub>2</sub> (*gco2* na notação do GTAP-E) que, por sua vez, é originada no crescimento (contração) da produção dos setores poluidores.<sup>97</sup>

A variação total das emissões por combustível é dada pela demanda interna da *commodity* energia dentro da região (equações CEMISSIONS e OILEMISSIONS no Quadro A.8). Esse cálculo precisa contabilizar a produção interna acrescida da diferença entre importações e exportações dessas mercadorias. Nessa contabilidade não é levada em consideração o petróleo cru, cuja emissão é calculada separadamente deduzindo-se o uso desta *commodity* no setor de derivados de petróleo, uma vez que este produto não é utilizado diretamente para produzir energia, mas sim como um insumo.

Para se executar as políticas de redução de CO<sub>2</sub> que serão tratadas aqui neste trabalho é preciso que seja criado um ambiente econômico no modelo (*closure*), propício para as simulações que irão caracterizar os cenários propostos. As restrições quantitativas das emissões de CO<sub>2</sub> são praticadas tornando-se endógena a variável de taxação real sobre o carbono (RCTAX - taxa nominal deflacionada pelo deflator do PNB) e tornando-se exógena a taxa de crescimento das emissões totais (denotada por *gco2t* no modelo em questão). Os valores das alíquotas dos impostos são calculados endogenamente com base na diferença entre os valores dos fluxos de demanda doméstica com e sem o imposto.<sup>98</sup> Esse procedimento permite que seja possível dar um choque na variável exógena com a restrição de emissões que se pretende impor. Esse arranjo possibilita que sejam simuladas as restrições de emissões que foram acordadas pelo Protocolo de Quioto.<sup>99</sup>

---

<sup>97</sup> Os coeficientes de emissão são dados pela razão entre nível total de emissão de CO<sub>2</sub> em determinado setor, e o nível total do combustível utilizado pelo mesmo.

<sup>98</sup> Ver Quadro A.13.

<sup>99</sup> Por outro lado, se o interesse do pesquisador for impor um imposto em vez de uma quota, ele deve deixar *gco2t* se ajustar endogenamente.

Os agentes econômicos que utilizam as *commodities* de energia (setores produtivos, consumidores e o próprio governo) pagam um imposto sobre o uso das mesmas para uma espécie de “agência de carbono” no interior de cada região. Essa agência, posteriormente repassa esse valor da arrecadação para o agente regional representativo juntamente com a receita oriunda das vendas (ou compra) de permissão de emissões de carbono para (das) outras regiões do modelo. Esses fluxos são dispostos em uma matriz de contabilidade social nacional.<sup>100</sup>

#### 2.2.4 Comércio de emissões

O GTAP-E também admite às regiões do modelo comercializar entre si as quotas de redução de emissão de CO<sub>2</sub>. A estrutura teórica introduzida no GTAP para permitir o “comércio de emissões” busca atingir o objetivo de modelar os mecanismos de flexibilidade admitidos pelo Protocolo de Quioto.

Grosso modo, se um país é parte de um esquema de comércio de permissão de emissões, o custo marginal de abatimento de carbono nominal é igualado à variação do equilíbrio do custo marginal de abatimento para o grupo de países/regiões pertencentes ao mercado de emissões. Esse mecanismo funciona através de um imposto nominal sobre emissão de carbono que depois é convertido para termos reais através do deflator do PIB. Para se operacionalizar essa situação, a variável *dummy* correspondente para tal país deve assumir o valor igual a 1 no modelo ( $D\_MARK = 1$ ). Por outro lado, se o país age individualmente, ou seja, não participa do mercado de emissões, a alíquota real do imposto sobre carbono é selecionada para ser exógena e  $D\_MARK = 0$ .<sup>101</sup>

O ambiente econômico (*closure*) para permitir esse expediente é construído impondo-se que a soma das contas de comércio e fluxos relacionados à emissão de CO<sub>2</sub> (receitas e gastos referentes às vendas e compras, respectivamente, de permissões de

---

<sup>100</sup> As equações que dão origem aos fluxos relacionados à agência de carbono na matriz de contabilidade nacional encontram-se no Anexo A, Quadro A.12.

<sup>101</sup> As equações relacionadas ao comércio de emissões encontram-se no Quadro A.8.

emissões) seja exógeno e igual a zero (variável DTBALCTRA).<sup>102</sup> Isso implica que se uma região comprar permissões para emitir, as mesmas terão de compensar essa compra por uma equivalente venda de bens e serviços. Adicionalmente é feita a restrição de que o fluxo líquido de capital seja constante (imposição do modelo GTAP-E).<sup>103</sup>

## 2.3 Base de dados

A base de dados do GTAP combina dados de comércio bilateral, transporte e proteção que caracterizam as ligações regionais da economia mundial em 1997, juntamente com as matrizes de insumo-produto específicas das regiões para descrever as ligações interssetoriais dentro das mesmas. A base de dados versão 5.4 do GTAP utilizada neste trabalho é a mais recente disponível até o momento. Com relação à versão anterior, pode ser destacada a melhoria na versão atual na qualidade dos dados de tarifas e subsídios sobre produtos agrícolas, além de essa versão desagregar os dados de 78 regiões e 57 setores (23 e 20 adicionais, respectivamente). Como a grande ênfase deste trabalho reside nos impactos setoriais e regionais advindos de choques de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, e estes, por sua vez, têm sua origem nos setores produtores de energia, fazem-se algumas observações que se julgam importantes a respeito desses dados.

### 2.3.1 Dados de energia

A base de dados de energia do GTAP surgiu basicamente como necessidade de avaliação dos custos das políticas para redução dos gases do efeito estufa que trata o Protocolo de Quioto. Baseado em dados de várias fontes (principalmente dados de energia do IEA – Agência de Energia Internacional ou *International Energy Agency*), o Centro para Análise de Comércio Global da Universidade de Purdue promoveu a

---

<sup>102</sup> Ver Quadro A.5.

<sup>103</sup> Alternativamente, se for interesse do pesquisador, com um adequado *closure*, o ajuste pode ser através variação no fluxo de capital.

integração desses dados dentro de um instrumental de insumo-produto. Com o objetivo de tornar os dados compatíveis e equilibrados com o restante da base de dados do GTAP, foram adotados alguns procedimentos que serão explorados de forma mais detalhada a seguir.

A grande maioria dos dados de preços e quantidades requeridos pelo modelo GTAP originou-se, respectivamente, das publicações *Energy Prices and Taxes* e da base de dados de balanços energéticos do IEA.<sup>104</sup> Uma tarefa que demandou muito cuidado foi a compatibilização da agregação dos setores, países e usos dos recursos energéticos com a base de dados do GTAP. Por exemplo, recursos renováveis no GTAP são incluídos no setor de eletricidade, enquanto que no balanço do IEA são discriminadas outras fontes de energia, como a nuclear, a solar, e a eólica, que são usadas exclusivamente para gerar eletricidade. Portanto o *mapping* dos setores precisou levar em consideração essa condição.<sup>105</sup>

Um fator muito importante na estimação dos fluxos monetários de bens energéticos foi o cálculo dos preços que estão por trás desses fluxos. O procedimento começa com o cálculo do preço básico (*BP*) em US\$ de 1997. A equação abaixo assume que o preço no mercado doméstico corresponde ao preço de importação *cif* mais a tarifa de importação.<sup>106</sup>

$$BP_{xxx} = IPRC_{xxx} \left( 1 + \frac{IDUT_{xxx}}{100} \right) \quad (16)$$

Onde:

---

<sup>104</sup> As divergências dos dados do IEA com outras fontes foram sanadas optando-se por dar prioridade para o primeiro. Para países não pertencentes à OCDE, os dados provêm de várias fontes como, por exemplo, Organização Latino-Americana de Energia (OLADE), *Asian Development Bank* (ADB), *the United States Department of Energy* (DOE), *the China Energy Databook* e Banco Mundial.

<sup>105</sup> Nome do procedimento dado pelos modeladores de EGC para a compatibilização de dados de duas fontes com metodologias diferentes.

<sup>106</sup> Esta suposição é consistente com a hipótese que produtos energéticos domésticos e importados são substitutos perfeitos.

- $BP_{xxx}$  denota o preço básico de um país específico para a categoria de uso xxx<sup>107</sup>;
- $IPRC_{xxx}$  é o correspondente preço de importação *cif* e
- $IDUT_{xxx}$  a taxa % do imposto de importação.

A equação (17), que é utilizada para o cálculo do nível de preço ao usuário final ( $UPCR_{xxx}$ ), requer a adição de margens ( $MARG_{xxx}$ ) e impostos para usos específicos ( $UTAX_{xxx}$ ).

$$UPCR_{xxx} = (1 + MARG_{xxx})BP_{xxx} + UTAX_{xxx} \quad (17)$$

Outra condição necessária para integração dos dados foi a necessidade da adoção de uma medida padronizada para qual foram convertidos os preços dos vários produtos energéticos expressos em unidades diferentes. O Quadro 2.2 ilustra os fatores de conversão das várias unidades para toneladas de petróleo equivalente (toe).

---

<sup>107</sup> São identificadas quatro categorias de uso: indústrias (I), eletricidade(U), doméstico (H) e exportação (X). O preço básico calculado é uma média ponderada desses.

<b>Produto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Toneladas de petróleo equivalente (toe)</b>	<b>Fonte</b>
Carvão “steam”	1 tonelada	0,63	Coefficiente dos EUA no IEA, Preços de energia e taxas, pág.43.
Carvão “coking”	1 tonelada	0,709	Idem.
Petróleo cru	1 barril	0,1339	Coefficiente para Filipinas do ADB Tabela 11, pág.XXIX.
Gás natural	1 metro cúbico (m <sup>3</sup> )	0,0008645	Valor calórico bruto para Alemanha do IEA, Preços da Energia e Taxas, pág.36 convertido em toe.
Gasolina	1 barril	0,1327014	Fator de conversão para “todos os outros países” do IEA, Preços de energia e taxas, pág.41 aplicado para o fator de conversão de barril para litros.
LFO (óleo combustível líquido)	1 barril	0,1365969	Fator de conversão para “todos os outros países” do IEA, Preços de energia e taxas, pág.41 aplicado para o fator de conversão de barril para litros.
HFO (óleo diesel marinho)	1 tonelada	0,94	Fator de conversão para “todos os outros países” do IEA, Preços de energia e taxas, pág.42.
Diesel	1 barril	0,14151	Fator de conversão para “todos os outros países” do IEA, Preços de energia e taxas, pág.41 aplicado para o fator de conversão de barril para litros.

**Quadro 2.2 – Fatores de conversão para toneladas de petróleo equivalente**

Fonte: Dimaranan e MacDougall (2002).

Outro ponto que mereceu a devida atenção foi a possibilidade de as informações sobre os dados utilizados para os cálculos apresentados acima não estarem disponíveis. No caso dos preços de uso final, duas situações foram consideradas: o caso de existirem somente dados anteriores ao ano base (1997 para esta base de dados); e o caso de não existirem quaisquer dados<sup>108</sup>. Na primeira situação foi usada extrapolação utilizando-se taxas de câmbio e séries de tempo de índices de preços de produtos energéticos. Para o segundo caso foi tomado o preço médio em países similares. Nesta última ocorrência

<sup>108</sup> No caso dos impostos, por exemplo, assumem valores iguais a zero.

foram consideradas as situações de países exportadores e importadores líquidos de produtos energéticos com preços, respectivamente, mais alto e mais baixo do que a média. Quando são as margens que não estão disponíveis, e dada a disponibilidade dos preços de uso final e impostos, a equação (18) gerou esse resultado através da combinação das equações (16) e (17).

$$MARG_{xxx} = \frac{UPRC_{xxx} - UTAX_{xxx}}{IPRC_{xxx} \left( 1 + \frac{IDUT_{xxx}}{100} \right)} - 1 \quad (18)$$

Na impossibilidade de se calcular as margens com a equação (18), optou-se pelo artifício de utilizar as margens dos EUA (*USAMARG*) e Japão (*JPNMARG*) para se obter uma média ponderada, onde *AVMARG* é margem média mundial calculada de acordo com as informações disponíveis para a equação (18).

$$MARG_U = (0,2 \cdot JPNMARG_U) + (0,2 \cdot USAMARG_U) + (0,6 \cdot AVMARG_U) \quad (19)$$

Finalmente, os preços puderam ser estimados tanto pela equação (17) - quando os preços de uso final e impostos eram disponíveis - ou pela equação (16), quando não. Fez-se ainda a suposição que os preços básicos não são diferenciados entre os usuários e, neste caso, foi preciso que um preço básico médio fosse calculado sobre todos os usuários, e *MARG* precisou ser recalculada de acordo com (18'), onde *AVBP* é o preço básico comum a todos os usuários.

$$MARG_{xxx} = \left( \frac{UPRC_{xxx} - UTAX_{xxx}}{AVBP} \right) - 1 \quad (18')$$

### 2.3.2 Dados de emissões de CO<sub>2</sub>

Os dados de emissões utilizados para a agregação deste trabalho foram extraídos de Lee (2003). Para cada país, as emissões de CO<sub>2</sub> do consumo de energia por setor seguem a classificação da base de dados do GTAP (dados de energia de 1997). Unidade de emissão de CO<sub>2</sub> em giga-gram (Gg) e unidade de consumo de energia em toneladas de petróleo equivalente (toe).<sup>109</sup>

A base de dados das emissões de CO<sub>2</sub> foi calculada sobre a base de dados de volume de energia do GTAP seguindo a metodologia do Tier 1 da versão revisada de 1996 do manual do IPCC (IPCC/OCDE/ IEA, 1997).<sup>110</sup> O cálculo da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é baseado na quantidade queimada de carbono na utilização de combustíveis.<sup>111</sup> A seguir apresentam-se algumas notas sobre o cálculo das emissões. A fórmula utilizada é apresentada a seguir:

$$CO2_{isjr} = [FC_{isjr} \times CC_i \times (1 - CST_{ijr}) \times EFi \times FOC_i \times (44/12)]/1000, \quad (19)$$

$i \in EGY\_COMM, s \in SRC, j \in ALLSEC, r \in REG.$

Onde:

- EGY\_COMM é o conjunto que contém os cinco setores de energia da classificação do GTAP: carvão, petróleo cru, produtos derivados do petróleo e carvão, gás natural e eletricidade;

<sup>109</sup> Para transformar as emissões para milhões toneladas de carbono (unidade usada no modelo), foi utilizada a seguinte fórmula:  $\{[(12/44)*1000]/1000000\} * CO_2$

<sup>110</sup> Tiers 1,2 e 3 são os três diferentes níveis descritos no manual do IPCC pelos quais as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser calculadas. O Tier 1 refere-se a emissão de CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis da oferta total do país, ou pelas principais atividades de combustão.

<sup>111</sup> O CO<sub>2</sub> é o mais importante de todos os gases do efeito estufa. De acordo com o IPCC (1992), ele responde por cerca de 60% do aumento da força radioativa desde a era pré-industrial. Aproximadamente 80% das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> são advindas da queima de combustíveis fósseis.

- SRC refere-se à fonte do bem, ou seja, doméstico ou importado;
- ALLSEC contém todos os produtores e domicílios, e
- REG é conjunto que possui todas as regiões do modelo.

Os coeficientes são definidos como:

$CO2_{isjr}$  = emissões de  $CO_2$  (Gg) do uso da *commodity*  $i$  da fonte  $s$  usada pelo setor  $j$  da região  $r$ ;

$FC_{isjr}$  = consumo de combustível (1000 toe) da *commodity* energia  $i$  da fonte  $s$  pelo setor  $j$  da região  $r$ ;

$CC_i$  = coeficiente de conversão (TJ/1000 toe) da *commodity* energia  $i$ ;

$CST_{ijr}$  = razão de carbono armazenado da *commodity* energia  $i$  usado pelo setor  $j$  da região  $r$ ;

$EF_i$  = fator de emissão (toneladas de Carbon/TJ) do *commodity* energia  $i$ ; e

$FOC_i$  = fração de carbono oxidado do *commodity* energia  $i$ .<sup>112</sup>

Onde: TJ = Tera Joule; Gg = Giga-gram; 1 Gg =  $10^3$  tonne.

Os valores dos coeficientes utilizados no GTAP estão listados abaixo na Tabela 2.3.

---

<sup>112</sup> Termo técnico utilizado para o gás liberado pela queima do combustível fóssil.

**Tabela 2.3 – Valores dos coeficientes da equação do cálculo das emissões**

Commodities Energia	Coeficiente de Conversão (CC) (TJ/1000toe)	Fator de Emissão (EF) (t carbono/TJ)	Fração de Carbono oxidado (FOC)
Carvão	41,87	25,80	0,98
Petróleo cru	41,87	20,00	0,99
Gás natural	41,87	15,30	0,95
Produtos do petróleo(*)	44,50	19,00	0,99
Gás(**)	47,31	17,20	0,99

Fonte: Manual de referência do inventário dos gases do efeito estufa do IEA (1997).

\*Aproximação para todos os produtos derivados do petróleo.

\*\* Principalmente gás liquefeito do petróleo (LPG).

O coeficiente CST na equação (19) diz respeito aos combustíveis utilizados como insumos, tais como gás natural e derivados do petróleo usados pelo setor petroquímico. As proporções utilizadas são dadas pela razão do uso de insumos e são derivadas das tabelas de energia da OCDE (OCDE/IEA, 1999a e 1999b).

## 2.4 – Agregação

Algumas adequações se fizeram necessárias na base de dados original do GTAP (dados oferecidos pela versão 5.4).<sup>113</sup> Para que esses dados se tornassem compatíveis com os dados requeridos pela teoria do modelo GTAP-E, foi necessário que se criassem 24 novos coeficientes a partir dos dados originais (Quadro A.12 no Anexo A). Com exceção dos dados de emissão de CO<sub>2</sub>, que foram obtidos no trabalho de Lee (2003), as outras adequações foram modificações nas dimensões e nomenclatura dos conjuntos do modelo GTAP-E.<sup>114</sup>

Os critérios de agregação utilizados para simulações de EGC não seguem uma regra única e dependem basicamente do interesse do pesquisador. Na agregação regional, quando a ênfase é dada para a formação de blocos regionais, por exemplo, geralmente se procura contemplar os principais parceiros comerciais envolvidos na análise. Quando o assunto são emissões de gases do efeito estufa, a agregação procura privilegiar os maiores poluidores do ar, que geralmente são os países mais industrializados.

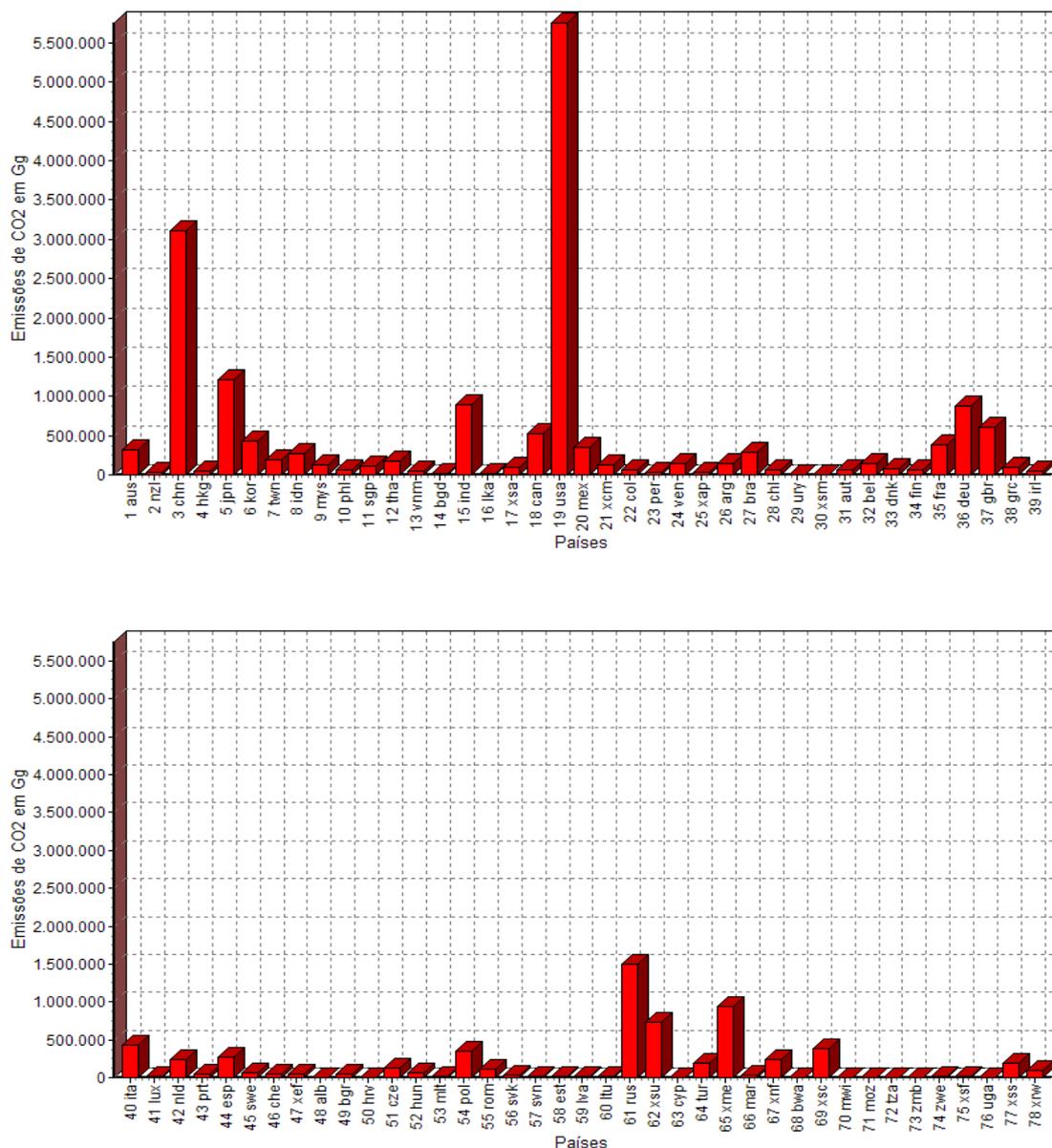
A agregação regional utilizada neste trabalho foi desenhada para procurar conciliar esses dois objetivos e possibilitar uma avaliação integrada de um possível acordo comercial da ALCA e as reduções de emissões de CO<sub>2</sub> tratadas pelo Protocolo de Quioto. Foram agrupados 78 países da versão 5.4 da base de dados do GTAP em 10 novas regiões (Quadro 2.3). As mesmas foram agrupadas de modo a privilegiar a análise dos resultados dos principais países envolvidos no acordo da ALCA, como Brasil, Estados Unidos, Canadá e México, Resto do Mercosul e Resto da ALCA; assim como possibilitar a construção de cenários para implementação do Protocolo de Quioto quanto aos seus principais atores, que são os países integrantes do chamado Anexo I (EUA, Canadá, EU e OANEX1), e outros países que são considerados grandes emissores de CO<sub>2</sub>

---

<sup>113</sup> O GTAP 5.4 Interim Release foi disponibilizado para quem comprou a versão 6.0 da base de dados que está sendo construída. A versão 5.4 foi construída com base no GTAP 5.0 e tem o mesmo ano de referência deste (1997). Entretanto, na versão 5.4 foram desagregadas mais 14 regiões, com cinco atualizações e outras revisões para a base anterior.

<sup>114</sup> O Software GTAPAgg utilizado para agregação dessa base de dados não gerou todos os coeficientes necessários para implementação da mesma no GTAP-E. Este trabalho teve de ser feito separadamente.

através da queima de combustíveis fósseis, como China e Índia, por exemplo (Figura 2.6).<sup>115</sup>



**Figura 2.6 – Emissões de gases do efeito estufa (CO2) em 1997**

Fonte: Lee (2003).

<sup>115</sup> A exposição da Figura 2.6 tem por finalidade justificar a agregação utilizada para as simulações do Protocolo de Quioto. Os respectivos códigos das regiões na figura encontram-se no Anexo D.

O critério para agregação setorial restringiu-se principalmente às disponibilidades dos dados de emissões de CO<sub>2</sub> compatíveis com o modelo GTAP-E. Assim sendo, foram agrupadas 57 indústrias em oito novos setores, cinco deles em *commodities* de energia (carvão, petróleo cru, gás natural, derivados de petróleo e carvão e eletricidade) e três outros grandes setores (agricultura, indústrias intensivas em energia e outras indústrias e serviços). Através dessa agregação foi possível que a análise ficasse concentrada principalmente nos setores mais emissores de CO<sub>2</sub>.

Agregação regional	Agregação setorial
<p><b>1. Brasil</b></p> <p><b>2. Estados Unidos (EUA)</b></p> <p><b>3. México</b></p> <p><b>4. Canadá</b></p> <p><b>5. Resto do Mercosul (RMERC)*</b> Argentina e Uruguai.</p> <p><b>6. Resto da ALCA (RALCA)</b> América Central, Caribe, Colômbia, Peru, Venezuela, Resto do Pacto Andino, Chile, Resto da América do Sul.</p> <p><b>7. União Européia (UE)</b> Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Reino Unido, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Espanha e Suécia.</p> <p><b>8. Outros países do Anexo 1 (OANEX1)</b> Austrália, Nova Zelândia, Japão, Suíça, Resto da Área de Livre-comércio da Europa, Bulgária, Croácia, República Tcheca, Hungria, Polônia, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Estônia; Letônia; Lituânia, Rússia.</p> <p><b>9. Outros grandes emissores (OGEMISS)</b> China, Coréia, Taiwan, Indonésia, Malásia, Singapura, Tailândia, Vietnam, Índia, Resto da Antiga União Soviética, Resto do Oriente Médio, Resto da África do Norte, Resto da União Aduaneira da África do Sul, Resto da África Sub-Saariana.</p> <p><b>10. Resto do Mundo (ROW)</b> Hong Kong, Filipinas, Bangladesh, Siri Lanka, Resto da Ásia do Sul, Albânia, Malta, Chipre, Turquia, Marrocos, Botsuana, Malawi, Moçambique, Tanzânia, Zâmbia, Zimbábue, Outros da África do Sul, Uganda, Resto do Mundo.</p>	<p><b>1. Agropecuária</b> Agricultura primária, atividade florestal, pesca, arroz com casca, trigo, outros cereais em grão, vegetais, frutas, noz, sementes de óleo (azeite), açúcar de cana, açúcar de beterraba, fibras à base de plantas, outras colheitas, bovinos, ovinos, caprinos, eqüinos, outros produtos animais, leite não-processado, lã, bicho-da-seda.</p> <p><b>2. Carvão</b> Mineração e aglomeração de carvão duro, carvão fóssil e turfa.</p> <p><b>3. Petróleo cru</b> Extração de petróleo bruto.</p> <p><b>4. Gás natural</b> Extração de gás natural, manufatura e distribuição.</p> <p><b>5. Derivados de Petróleo e carvão</b> Produtos derivados do petróleo, carvão e processamento de combustível nuclear.</p> <p><b>6. Eletricidade</b> Produção, transmissão e distribuição.</p> <p><b>7. Indústrias intensivas em energia</b> Outros minerais, produtos químicos básicos, outros produtos químicos, produtos de plástico e borracha, outros produtos minerais, metais ferrosos, outros metais.</p> <p><b>8. Outras indústrias e serviços</b> Carne (bovina, caprina, eqüina), outros produtos de carne, gorduras e óleos vegetais, produtos diários, arroz processado, açúcar, outros produtos alimentícios, bebidas e tabaco, têxteis, vestuário, produtos de couro, produtos de madeira, produtos de papel, publicações, produtos de metal, veículos e suas partes, outros equipamentos de transporte, equipamento eletrônico, outras máquinas e equipamentos, outras manufaturas, água, construção, comércio, transporte, comunicação, serviços financeiros, seguros, negócios, recreação, administração pública e defesa, saúde, aluguéis.</p>

**Quadro 2.3 – Agregação utilizada**

\* A base de dados do GTAP não contempla o Paraguai.

## 2.5 – Considerações Finais

O objetivo deste capítulo foi expor a metodologia empregada para a análise do problema que se pretende explorar neste trabalho. O modelo GTAP-E, instrumento utilizado para desenvolver tal análise, originou-se do modelo padrão GTAP e apresenta as mesmas características gerais desse último. Entretanto, ele difere do GTAP original por permitir a substituição entre fontes de energia e a consequente queima de carbono e emissões de CO<sub>2</sub> pela utilização dessa energia. Para efeito de comparação, foram apresentadas as respectivas estruturas de produções e consumo de ambos os modelos. Além disso, foi mostrado que a estrutura teórica do GTAP-E permite que, através de um ambiente econômico apropriado (*closure*), seja possível avaliar os efeitos específicos do comércio de emissões. Foram apresentados também alguns aspectos importantes da base de dados de energia e emissões de CO<sub>2</sub> utilizada para as simulações.

As características destacadas acima criaram as condições para que pudessem ser construídos os cenários de implementação da ALCA e do Protocolo de Quito no modelo. No capítulo seguinte detalham-se esses cenários alternativos e os resultados das respectivas simulações.

### 3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS E RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Neste capítulo foi utilizado o instrumental descrito no capítulo anterior, com o objetivo de se fazer uma avaliação conjunta dos efeitos econômicos e ambientais da efetivação do Acordo de Livre-Comércio das Américas (ALCA) e do Protocolo de Quioto. A análise integrada levando em consideração ambos os eventos pode trazer importantes alterações nos resultados, o que não seria obtido em estudo isolado. Assim, este capítulo apresenta a descrição dos cenários com as respectivas premissas assumidas para a simulação dos mesmos. A exposição dos resultados procurará privilegiar os impactos sofridos pelas regiões que compõem a ALCA e, especialmente, o Brasil.

A seção 3.1 traz a descrição e os resultados da simulação de dois cenários: o primeiro simulando a implementação da ALCA via eliminação das tarifas comerciais, e o segundo, além da ALCA, a simulação de um possível cenário para a implantação do Protocolo de Quioto. Também apresenta-se neste item uma breve explicação do *closure* que proporcionará o ambiente econômico adequado para que se possa efetuar os choques de redução de emissões.<sup>116</sup> A descrição dos cenários relacionados exclusivamente com o Protocolo de Quioto e seus resultados são apresentados na seção 3.2. Um resumo dos impactos das simulações para o Brasil está na seção 3.3. Na seção 3.4, faz-se uma análise de sensibilidade nos choques de redução de emissões, bem como em alguns parâmetros do modelo. Na seção 3.5 tecem-se algumas considerações finais.

---

<sup>116</sup> Apresenta-se neste item um maior detalhamento dos resultados da simulação do cenário denominado “Alca1”. O critério da escolha desse cenário para uma análise mais profunda reside no fato que, devido às premissas assumidas pelo mesmo, pode-se explorar melhor alguns recursos do modelo, como, por exemplo, o comércio de emissões.

### 3.1 Cenários com a ALCA

#### *Equilíbrio inicial*

A observação dos dados relativos à proteção comercial praticada pelos países na base de dados do GTAP 5.4 mostrou a incidência de tarifas de importação e exportação no âmbito interno dos blocos MERCOSUL e NAFTA. Na construção desses cenários, partiu-se da hipótese que estes dois blocos comerciais já estavam plenamente consolidados. Portanto, para que pudesse ser estabelecido um equilíbrio inicial foi necessário “corrigir” essas diferenças com relação à realidade em 1997 (ano base dos dados). Assim adotou-se um procedimento que permitiu que estes dados fossem modificados sem que fossem provocados inconsistências e desequilíbrios nos dados originais do modelo. Para tanto, fez-se uma simulação em que foram selecionadas as tarifas desejadas (iguais a zero, neste caso) com um *closure* e um conjunto de parâmetros que minimizou as mudanças nos outros dados da base.<sup>117</sup> A seguir os dados atualizados pela última simulação foram utilizados para se criar uma nova versão do modelo, que consistiu no cenário de equilíbrio inicial, o qual serviu de ponto de partida para as simulações subsequentes.

#### 3.1.1 Alca – Eliminação de tarifas de importação e exportação

A simulação desse cenário consistiu na completa remoção de tarifas de exportação e importação entre os países que integram a Área de Livre-comércio das Américas –

---

<sup>117</sup> Em suma, o procedimento consistiu em fixar o saldo comercial das regiões do modelo, tornando exógena a variável correspondente, e atribuindo alguns valores específicos para determinados parâmetros do modelo, de forma a não provocar alterações nos fluxos monetários. Maiores detalhes deste procedimento (conhecido como ALTERTAX) podem ser encontrados em Malcolm (1998).

ALCA.<sup>118</sup> Antes de partir para a simulação propriamente dita, cumpre fazer uma ilustração da estrutura tarifária vigente em 1997 na base de dados do GTAP, que foi modificada em função deste experimento.<sup>119</sup> Na tabela 3.1 estão reportados os valores médios totais das tarifas de importação entre as regiões que irão compor o bloco.<sup>120</sup> Os setores que incidem as maiores tarifas de importação são os de outras indústrias e serviços (Out. Ind. e Serv.) e o setor agropecuário com, respectivamente, 6,9% e 5,6% na média (valores não reportados). Quanto aos setores agregados como *comodities* de energia, observou-se que em geral esses são pouco protegidos. Entretanto, podem ser destacadas as tarifas médias de importação no RALCA (Resto da ALCA) de 10,5%, 7,6% e 6,7% para carvão, petróleo bruto, e derivados de petróleo e carvão (P&C), respectivamente.

**Tabela 3.1 – Tarifas de importação média incidente entre os membros da ALCA - (% *ad-valorem*)**

<b>Regiões</b>	<b>Brasil</b>	<b>EUA</b>	<b>México</b>	<b>Canadá</b>	<b>RMERC</b>	<b>RALCA</b>
<b>Setores</b>						
Agropecuário	5,34	6,69	4,22	0,98	5,41	10,70
Carvão	0,01	0,00	1,57	0,00	0,00	10,49
Petróleo cru	1,83	0,17	0,00	0,00	0,56	7,55
Gás natural	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86
Derivados P&C	3,58	1,11	3,97	2,32	0,31	6,71
Eletricidade	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
Ind.Int.Energia	4,84	1,71	4,68	1,24	6,60	9,52
Out.Ind.e Serv.	7,84	3,25	5,79	4,31	8,10	12,32

Fonte: A partir dos valores resultantes da simulação ALTERTAX.

<sup>118</sup> De acordo com Domingues (2002), pode-se supor que, dado o cronograma de implementação da ALCA, a primeira etapa recaia sobre a eliminação das tarifas intrabloco.

<sup>119</sup> Ao longo deste capítulo poder-se-á utilizar o termo “experimento” para designar a construção de determinado cenário.

<sup>120</sup> Optou-se por não mostrar a estrutura de tarifas de exportação devido a sua pouca importância comparada com a de tarifas de importação.

*Impactos Econômicos*

A Tabela 3.2 mostra a variação equivalente da renda e sua decomposição sofrida por ocasião do experimento. As variações equivalentes da renda regional (EV) e mundial (WEV) foram calculadas dentro do modelo determinando-se as rendas que seriam requeridas para se alcançar um determinado nível de utilidade "u" em um sistema de demanda "sombra" no qual os preços são fixos.<sup>121</sup> Os efeitos alocativos mostram que uma parcela da EV proveniente dos ganhos (ou perdas) de eficiência é ocasionada pela remoção (inclusão) das distorções causada pela incidência de tarifas sobre o comércio. Produtos importados mais baratos, por exemplo, provocam ganhos tanto através do consumo ampliado como na forma como os recursos produtivos domésticos são aplicados. Os termos de troca são afetados pela variação dos preços das exportações referente ao corte das tarifas.<sup>122</sup> O impacto do componente investimento-poupança (I-S) sobre o bem-estar, por sua vez, é função dos preços da poupança e investimento e da situação como determinada região aparece no saldo de poupança líquida.

Apesar de os resultados apresentados a seguir serem em valores absolutos, eles fornecem uma boa idéia de ganhos (perdas) de bem-estar que as regiões obteriam em função deste experimento.<sup>123</sup> Com exceção do Canadá, que perdeu com a formação da ALCA, e o RMER (Resto do MERCOSUL) que ficou praticamente estagnado, pode-se observar que ganhariam com o acordo todas as regiões participantes da formação do bloco. Pode-se argumentar que esta melhora deu-se basicamente em detrimento das regiões que não participaram do bloco, pois as mesmas não sofreram choques de eliminação de tarifas e, portanto, não se favoreceram dos seus efeitos.<sup>124</sup>

---

<sup>121</sup> A variação equivalente da renda do consumidor regional (EV) reflete a diferença entre a despesa requerida para obter o novo nível de utilidade aos preços iniciais ( $Y_{EV}$ ) e o nível de utilidade disponível no equilíbrio inicial (Y), ou seja,  $EV = Y_{EV} - Y$ .

<sup>122</sup> Neste modelo, a variação nos termos de troca é dada pela diferença entre as variações percentuais dos índices de preço recebido e pago pelos *tradables* produzidos e usados, respectivamente, em determinada região.

<sup>123</sup> A utilização do termo bem-estar refere-se, nesse contexto, à variação dos excedentes do consumidor e produtor.

<sup>124</sup> A questão de desvios e criação de comércio com a ALCA pode ser mais bem analisada em Azevedo (2003).

Os Estados Unidos foram os maiores beneficiados alcançando um ganho de bem-estar econômico avaliado em US\$ 4,8 bilhões. Esse resultado foi proporcionado, principalmente, pelos ganhos dos termos de troca que foram responsáveis por praticamente três quartos desse total. Essa melhoria nos termos de troca, segundo Panagariya (1997), é uma possibilidade que surge quando países com tarifas baixas formam um bloco comercial com outros de tarifas elevadas, uma vez que ocorre uma transferência líquida de receita das tarifas desses últimos para os primeiros. No Brasil, o principal mecanismo de ganho proveniente da formação do bloco foi o de eficiência alocativa (US\$ 1.315 milhões). O montante de EV alcançado através desse canal mais que compensou a perda nos termos de troca de US\$ 25 milhões, gerando o ganho de bem-estar de US\$ 1,4 bilhão. O efeito I-S de US\$ 140 milhões revela o Brasil, nesta simulação, como sendo um supridor líquido de poupança.

**Tabela 3.2 - Variação do bem-estar e sua decomposição – US\$ milhões**

<b>Regiões</b>	<b>EV</b>	<b>Alocativo</b>	<b>Termos de troca</b>	<b>I-S</b>
<b>Brasil</b>	1429,63	1315,4	-25,69	139,92
<b>EUA</b>	4848,66	885,37	3590,12	373,17
<b>México</b>	430,71	166,25	327,41	-62,95
<b>Canadá</b>	-221,24	82,36	-267,36	-36,25
<b>RMERC</b>	-2,89	5,06	12,27	-20,22
<b>RALCA</b>	3534,5	2231,37	1389,7	-86,57
<b>UE</b>	-3667,81	-1258,03	-2359,25	-50,53
<b>OANEX1</b>	-2294,61	-651,36	-1597,1	-46,16
<b>OGEMISS</b>	-1431,26	-340,04	-966,94	-124,28
<b>ROW</b>	-249,58	-42,24	-120,28	-87,06

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca.

Os setores responsáveis pelas perdas nos termos de troca no Brasil foram os de produtos agropecuários e outras indústrias e serviços (US\$ 214 e US\$ 76 milhões, respectivamente na Tabela 3.3). Esse resultado foi uma consequência natural da eliminação de tarifas, ou seja, queda dos preços nos mercados dos produtos gerados pela

desgravação tributária (13,8% nos EUA e 6,7% no RALCA, para o setor agropecuário) que, não por coincidência, tiveram as maiores reduções tarifárias médias nesse setor (6,7% e 10,7%, respectivamente), como foi mostrado na Tabela 3.1. O mesmo raciocínio - ou seja, a redução tarifária com conseqüente redução do preço dos bens importados - pode ser utilizado para justificar os ganhos de eficiência provocados pela melhor alocação dos recursos. Os setores mais beneficiados no Brasil por este critério foram outras indústrias e serviços (US\$ 1,1 bilhão), produtos derivados de petróleo e carvão (US\$ 110 milhões) e indústrias intensivas em energia (US\$ 83 milhões).

**Tabela 3.3 – Decomposição do bem-estar no Brasil por setor – US\$ milhões**

Setores	Efeito alocativo	Termos de troca
Agropecuário	18,68	-214,07
Carvão	0,44	1,96
Petróleo cru	1,2	26,31
Gás natural	-0,02	0,00
Derivados P&C	110,46	3,24
Eletricidade	-1,36	21,34
Ind.Int.Energia	83,5	211,85
Out.Ind.e Serv.	1102,51	-76,31
Total	1315,4	-25,67

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca.

Quanto ao setor externo brasileiro, pode ser creditada ao setor de petróleo a maior variação positiva das importações. Como pode ser observado na Tabela 3.4, foi registrado um aumento de 204,5% das importações com origem nos EUA, e 270% procedente do RALCA; e reduções para RMERC (-255,1%), México (-63,6%) e Canadá (-52,1%). Pode-se conjecturar que esta queda de importação de petróleo do RMERC é uma conseqüência natural do processo de integração, uma vez que parte do petróleo argentino é substituída por petróleo proveniente dos EUA e Venezuela, por exemplo.

Tabela 3.4 – Exportações (X) e Importações Brasileiras (M) (variação % no volume)

Setores		Agrope-	Carvão	Petróleo	Gás	Derivados	Eletri-	Ind.Int.	Out.Ind.e
Regiões		cuária		cru	natural	P&C	cidade	Energia	Serv.
EUA	X	76,57	33,82	67,92	-3,41	69,48	-4,32	27,26	36,16
	M	39,25	0,11	204,53	-0,07	8,82	2,06	37,7	62,76
México	X	24,7	34,2	63,65	-2,4	112,9	-4,2	67,8	90,32
	M	68,71	-1,51	-40,64	-1,3	12,07	2,68	42,25	145,3
Canadá	X	1,88	33,2	52,14	-3,94	107,12	-4,89	27,02	49,25
	M	38,36	2,43	-33,73	2,76	13,93	5,32	7,05	41,62
RMERC	X	-11,54	-3,41	255,12	4,53	3,81	0,24	-10,36	-15,61
	M	-1,11	1,1	-74,24	1	-13,97	2,74	-6,63	-10,38
RALCA	X	19,16	105,22	416,09	-21,51	51,5	-0,8	47,65	85,59
	M	5,9	-5,01	270,37	-8,08	36,71	-5,97	19,7	27,6
UE	X	-7,32	-4,66	48,95	-5,37	2,99	-6,34	-3,53	-6,98
	M	2,12	2,69	-34,86	3,23	-7,34	5,43	-6,72	-9,26
OANEX1	X	-7,98	-5,56	48,79	-5,34	3,11	-6,51	-3,57	-6,92
	M	2,5	2,82	-34,32	3,22	-7,13	5,61	-6,57	-9,07
OGEMISS	X	-8,07	-5,19	49,83	-5,36	3,22	-6,36	-3,51	-6,85
	M	2,71	2,63	-34,88	3,12	-7,36	5,26	-6,79	-9,39
ROW	X	-8,17	-5,36	49,63	-5,23	3,23	-6,01	-3,63	-7
	M	2,64	2,59	-35,98	2,94	-7,36	5,15	-6,81	-9,41

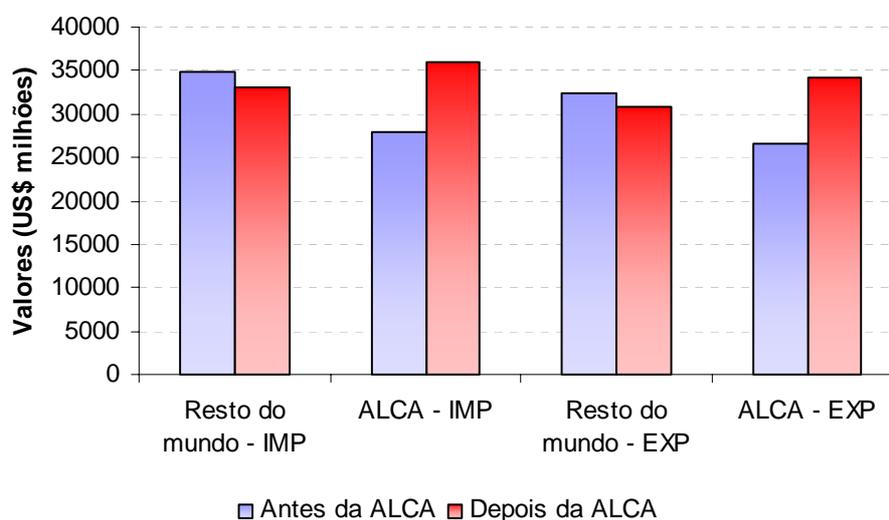
Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca.

Os setores de outras indústrias e serviços e o setor agropecuário obtiveram também um papel destacado pelo lado das importações, registrando, respectivamente, crescimento na ordem de 145,3% (México), 62,8% (EUA), 41,6% (Canadá) e 68,7% (México), 39,2% (EUA) e 38,4% (Canadá). Observa-se que ocorreram reduções simultâneas das importações provenientes das regiões de fora do bloco nos setores de petróleo cru, derivados de petróleo e carvão, indústrias intensivas em energia e outras indústrias e serviços. Isso pode ser uma evidência de desvios de comércio, cujo conceito foi introduzido por Viner (1950).<sup>125</sup> Essa evidência é ilustrada na Figura 3.1, onde se

<sup>125</sup> O desvio de comércio decorre da substituição das importações dos países mais eficientes de fora do bloco por importações de parceiros do bloco em função das preferências tarifárias concedidas ao parceiro do bloco, resultando em uma perda de bem-estar para o país importador.

observa que as importações brasileiras provenientes de países que compõem a ALCA cresceram 28,6%, enquanto que as dos países de fora do bloco caíram 5,1%.<sup>126</sup>

As exportações brasileiras cresceram em quase todos os setores para os países da ALCA nesta simulação (Tabela 3.4). O setor de petróleo bruto foi o que obteve o resultado mais expressivo, chegando a registrar um aumento de 416% para o RALCA, 255% para o RMERC e 68% para os EUA.<sup>127</sup> Os setores de derivados de petróleo e carvão, e outras indústrias e serviços também obtiveram um excelente desempenho. Pode-se destacar o aumento de 113%, 107% e 69% para México, Canadá e EUA, e 90%, 86% e 49% para o México, RALCA e Canadá, respectivamente.



**Figura 3.1 – Comparativo das exportações e importações brasileiras antes e depois da ALCA**

A exemplo do que ocorreu com as importações, também pode-se levantar a hipótese que este aumento das exportações para os membros do bloco se deu em

<sup>126</sup> Azevedo (2003) - utilizando o GTAP (versão 4.0) para tratar dessa questão no âmbito da ALCA - encontrou que as importações totais intrabloco cresceram 44,5% em detrimento da redução de 17% das provenientes de regiões de fora o bloco.

<sup>127</sup> Cabe salientar que esse resultado expressivo para as exportações de petróleo deve-se exclusivamente ao fato que esse item tem pouca participação na pauta de exportação brasileira. Portanto, um pequeno aumento em suas vendas representará uma grande variação percentual em termos absolutos.

detrimento dos países não-membros, particularmente nos setores agropecuário, de gás natural, indústrias intensivas em energia e outras indústrias e serviços. A questão de desvio de comércio pelo lado das exportações também está ilustrada na Figura 3.1.<sup>128</sup> As maiores reduções ficaram por conta dos setores de gás natural para o RALCA (-21,5%), e de produtos agropecuários (-11,5%), indústrias intensivas em energia (-10,4%) e outras indústrias (-15,6%) para o RMERC.

A Tabela 3.5 ilustra a variação do produto total e dos setores do modelo em função desta simulação. Em termos de crescimento do produto (PIB), os maiores ganhadores dentro do bloco foram, respectivamente, RALCA (0,49%) e Brasil (0,17%).<sup>129</sup> O resultado de crescimento do PIB brasileiro neste trabalho ficou próximo dos 0,21% encontrado por Domingues (2002) e dos 0,30%, por Pereira (2001), que utilizaram os modelos SPARTA (São Paulo Applied Regional Trade Analysis) e GTAP, respectivamente, para avaliar os impactos da ALCA.<sup>130</sup>

Cabe ressaltar que estes valores abaixo de 1% são resultados comuns em simulações com modelos baseados em uma estrutura de mercado em que prevalece a competição perfeita (primeira geração). Azevedo (2003) afirma, que nestes modelos, somente os ganhos estáticos associados a uma melhor alocação dos recursos e melhorias dos termos de troca são levados em consideração. Ao contrário, modelos com competição imperfeita (segunda geração) e dinâmicos (terceira geração) tendem a apresentar magnitudes maiores como resultado de experimentos de políticas comerciais.

Allen et al. (1996) e Hoekman et al. (1998) ressaltam que existe um aparente *trade-off* entre as magnitudes dos resultados empíricos alcançados através das abordagens das diferentes gerações de modelos e o grau de confiança no entendimento destes diferentes efeitos. Os modelos com competição perfeita envolvem mudanças de políticas de magnitude conhecida e métodos analíticos robustos. Por outro lado, os modelos de segunda e terceira gerações, apesar de apresentarem resultados maiores, envolvem

---

<sup>128</sup> O conceito “desvio de exportações”, cunhado originalmente por Winters (1997), é similar ao de “desvio de comércio”, mas desta feita, pelo lado das exportações.

<sup>129</sup> Como *proxy* para este indicador foi utilizado o índice de quantidade do PIB (*qgdp*).

<sup>130</sup> O modelo SPARTA é um modelo inter-regional de equilíbrio geral computável desenvolvido para avaliar a economia paulista. O mesmo foi desenvolvido a partir da estrutura teórica do modelo B-MARIA (*Brazilian Multisectorial And Reional/Interregional Analysis*) de Haddad e Hewings (1997).

inferências a partir de uma estrutura teórica com muitas controvérsias em relação a temas como a extensão das economias de escala e a estimação das margens de *mark-up* em mercados com competição imperfeita.<sup>131</sup>

**Tabela 3.5 – Produto total e por setor na ALCA (variação %)**

	<b>Brasil</b>	<b>EUA</b>	<b>México</b>	<b>Canadá</b>	<b>RMERC</b>	<b>RALCA</b>
<b>PIB (<i>qgdp</i>)</b>	<b>0,17</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0,49</b>
<b>Agropecuário</b>	0,12	-0,41	-0,33	-0,32	0,24	0,17
<b>Carvão</b>	-1,11	-0,13	-0,03	0,44	-0,18	-6,12
<b>Petróleo cru</b>	-2,29	-0,1	-0,3	0,17	3,13	-2,67
<b>Gás natural</b>	-0,12	-0,18	-0,18	0,25	1,12	-2,77
<b>Derivados P&amp;C</b>	1,57	-0,18	-0,37	-0,96	-2,94	11,24
<b>Eletricidade</b>	-0,26	-0,06	0,12	0,03	0,19	-1,4
<b>Ind.Int.Energia</b>	-0,01	-0,01	0,35	-0,03	-0,18	-1,38
<b>Out.Ind.e Serv.</b>	0,04	0,01	0,05	0,01	-0,08	0,55
<b>CGDS</b>	1,73	0,12	0,55	-0,16	0,56	6,78

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca.

Analisando-se os setores isoladamente, observa-se que a produção brasileira se expandiu nos setores agropecuário, derivados de petróleo e carvão, outras indústrias e serviços e no setor de bens de capital (CGDS).<sup>132</sup> Dos cinco setores afetados negativamente, chama a atenção o fato de que quatro deles referem-se aos chamados setores de energia. Este mesmo padrão pode ser observado para a região RALCA, ressaltando-se, nesse caso, o fenomenal crescimento do setor de derivados de petróleo e carvão (11,24%). A queda de produção mais expressiva nos EUA ocorreu no setor agropecuário (0,41%). Isso reflete em grande medida a queda da proteção tarifária (6,7% na Tabela 3.1) que esse setor vinha obtendo antes da formação do bloco, simulada por

<sup>131</sup> Para Harrison *et al.* (1997), os ganhos adicionais em magnitude devem-se mais aos *mark-ups* elevados e elasticidades utilizadas do que ao tipo de modelo empregado.

<sup>132</sup> Cabe chamar a atenção que a agregação utilizada para os setores neste trabalho não privilegia a análise para os produtos mais importantes na pauta de exportações dos países da ALCA. Entretanto, como o objetivo principal do mesmo é avaliar os impactos decorrentes das políticas ambientais (redução de CO<sup>2</sup>) sobre a economia e vice-versa, a agregação utilizada é a adequada.

este experimento. Cabe ressaltar também o desempenho negativo dos setores agropecuário (0,32%) e de derivados de petróleo e carvão (0,96%) no Canadá. Esses setores fizeram desse país o único com crescimento negativo dentro do bloco. Este fato pode ser justificado em certa medida pela perda de mercado desse país que, anteriormente, era garantido pelo NAFTA (bloco comercial formada por EUA, México e Canadá).

### *Impactos ambientais*

O aumento (redução) de emissões de CO<sub>2</sub> gerado neste modelo e nesta simulação deu-se basicamente pelo aumento (redução) da atividade econômica dos setores do modelo e o associado uso das *commodities* de energia (carvão, petróleo, derivados de petróleo e carvão, gás natural e eletricidade). Portanto, nesta simulação, em que as mudanças exógenas foram geradas somente através de choques nas tarifas de importação e exportação, o aumento (redução) de emissões ocorrerá se os setores mais poluidores apresentarem crescimento (contração) em sua atividade em decorrência da liberalização comercial.

A Tabela 3.6 ilustra a variação nas emissões para as regiões do modelo. De maneira geral, o acordo comercial produziu um aumento na emissão de CO<sub>2</sub> no âmbito da ALCA. No Brasil (1,6%) e no RALCA (2%) ocorreram os aumentos mais expressivos. As *commodities* que mais contribuíram para esse aumento foram petróleo cru (2,1% e 4,5%), derivados de petróleo (1,9% e 3,8%) e carvão (0,8% e 0,7%), respectivamente para Brasil e RALCA. A redução de CO<sub>2</sub> ficou por conta do RMERC (Argentina) através da diminuição das emissões oriundas do petróleo bruto e seus derivados (-2,8% e -1,2%, respectivamente).

Um resultado interessante a ser investigado mais profundamente é o porquê da redução da emissão da *commodity* petróleo bruto se a produção desse produto aumentou

3,1% nessa região.<sup>133</sup> A resposta vede-se ao fato que um aumento do preço desse produto no mercado interno (3,3%) ocasionado pela mudança tarifária do experimento, fez com que a utilização desse insumo se reduzisse no setor produtor de derivados de petróleo (Derivados P&C) mais que proporcionalmente ao aumento da sua produção. Produção esta que foi direcionada principalmente para o Brasil e RALCA onde houve queda nos preços desse produto (1,4% e 0,2%).<sup>134</sup> Isso explica, em certa medida, o crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> dessas últimas regiões no setor de petróleo e derivados.

Tabela 3.6 – Emissões totais e por *commodity* de energia (variação %)

Regiões	CO <sub>2</sub>	Total	Carvão	Petróleo cru	Gás natural	Derivados P&C	Eletricidade
	<b>Brasil</b>	1,62	0,83	2,12	-0,11	1,90	-0,11
<b>EUA</b>	0,10	-0,03	-0,12	-0,06	0,32	-0,04	
<b>México</b>	0,30	0,14	-0,02	-0,12	0,44	0,12	
<b>Canadá</b>	0,01	-0,01	-0,15	0,02	0,01	-0,06	
<b>RMERC</b>	-0,40	0,05	-2,76	0,35	-1,25	-0,09	
<b>RALCA</b>	2,03	0,67	4,51	-2,29	3,78	-0,24	
<b>UE</b>	-0,09	-0,05	-0,16	0,03	-0,17	0,00	
<b>OANEX1</b>	-0,04	0,03	-0,20	0,03	-0,14	0,00	
<b>OGEMISS</b>	-0,02	0,04	-0,19	0,04	-0,14	0,00	
<b>ROW</b>	-0,05	0,01	-0,18	0,05	-0,11	0,00	

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca.

Como se observou através da simulação desse cenário, obtiveram-se resultados sensivelmente melhores do ponto de vista econômico para a maioria das regiões envolvidas com a ALCA. No contexto ambiental, os resultados apontam para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> em consequência do crescimento econômico. Entretanto, nos resultados obtidos pela presente simulação não estão considerados os choques exógenos

<sup>133</sup> Esta é uma das vantagens dos modelos de equilíbrio geral sobre os de equilíbrio parcial, visto que é possível analisar a interação entre vários mercados em várias regiões.

<sup>134</sup> Esses últimos resultados não estão reportados aqui, mas são produtos desta simulação.

de redução de CO<sub>2</sub> que uma eventual implementação simultânea do Protocolo de Quioto traria aos resultados. A imposição de choques dessa natureza pode afetar os preços relativos das *commodities*, cuja utilização queima mais carbono e, dessa forma, alterar os fluxos comerciais. Essa possibilidade será investigada de forma mais detalhada a seguir.

### **3.1.2 Alca1 - Alca com Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões do modelo**

Neste cenário proposto estão representadas, além da completa remoção das tarifas de exportação e importação no âmbito interno da ALCA (cenário Alca), a plena implementação do Protocolo de Quioto com o uso do mecanismo de flexibilidade “comércio de emissões” entre todas as regiões do modelo.<sup>135</sup> A questão do Protocolo de Quioto foi simulada com duas simplificações que, embora não corresponda totalmente à realidade dos fatos, pode trazer interessantes projeções de possibilidades para o Brasil na ALCA. A primeira é que os Estados Unidos concordariam em reduzir suas emissões.<sup>136</sup> A segunda é que existiria um comércio mundial de emissões no qual é permitida a participação de todas as regiões do modelo.<sup>137</sup>

As restrições de emissões utilizadas aqui foram estimativas das restrições que teriam que ser impostas em 1997 (ano da base de dados da versão 5.4 do GTAP) para que os integrantes do Anexo I do Protocolo de Quioto atingissem a meta proposta pelo mesmo, aliada ao fato que a emissão nessas regiões aumentou entre 1990 e 1995 e que,

---

<sup>135</sup> O Protocolo de Quioto limitou as emissões de um grupo de países conhecidos como “países do Anexo I” em torno de 5% abaixo de seus níveis de 1990, meta a ser alcançada entre 2008 e 2012 (Protocolo de Quioto, 1997). Os mecanismos de flexibilidade são instrumentos que permitem que os países com maiores custos de abatimento de emissões possam utilizar a redução de emissões de outros países com menores custos.

<sup>136</sup> Os Estados Unidos, maior parceiro comercial da ALCA, responsável por cerca de 40% das emissões entre os países do Anexo I e aproximadamente um quarto do consumo mundial de energia relacionada às emissões de carbono em 1990, havia concordado em reduzir em 7% dos níveis de 1990 até 2008/2012 (Protocolo de Quioto, 1997).

<sup>137</sup> No texto original do Protocolo, o comércio de emissões é restrito somente aos países que compõem o chamado Anexo I. A participação de países não integrantes do Anexo I é feita através dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpos (MDL).

durante este período, não houve abatimento de emissões.<sup>138</sup> Tal argumento baseia-se no trabalho da OCDE (1999) o qual relata que existiu um *gap* de emissões entre a data de comprometimento do Protocolo e a data de confirmação do mesmo, ou seja, as emissões durante esse período de tempo aumentaram em muitos países. Esse aumento entre 1990 e 1995, segundo OCDE (1999), excedeu 10% em países como Japão, Estados Unidos, Canadá e outros países da União Européia, como Dinamarca, Áustria, Bélgica e Holanda. Baseado nestes fatos, as estimativas dos choques de redução de CO<sub>2</sub> selecionados para este experimento foram de -20% para as emissões nos EUA, OANEX1, Canadá, e -15% na UE.<sup>139</sup>

#### *Closures e choques para reduções e comércio de emissões*<sup>140</sup>

O fechamento ou *closure* de um cenário pode ser considerado como uma maneira especial de escolha das variáveis endógenas e exógenas do modelo. Para que a resolução do modelo chegue a uma solução, é necessário que o número de equações seja igual ao número de variáveis endógenas. Como o número de variáveis geralmente é superior ao número de equações, devem ser selecionadas algumas variáveis para serem exógenas ao modelo (fixas). O *closure* macroeconômico utilizado neste modelo é chamado de neoclássico.<sup>141</sup> Neoclássico porque, ao contrário dos fechamentos não-neoclássicos que consideram o investimento fixo, esse permite o investimento se ajustar a variações na poupança.

---

<sup>138</sup> As metas de redução de emissões para os países do Anexo I para que os níveis de emissão fiquem 5% abaixo dos de 1990 variaram de 6% para o Japão, Canadá, Hungria e Polônia até 8% de redução para alguns países da União Européia e Europa Oriental. Alguns países como Federação Russa, Nova Zelândia e Ucrânia poderiam manter seus níveis de emissões como estavam e outros poderiam até mesmo aumentar, como Austrália (8%), Islândia (10%) e Noruega (1%). Ver ANEXO C deste trabalho.

<sup>139</sup> Os valores correspondentes em milhões de toneladas de carbono foram de, respectivamente, 314, 215, 28, e 139.

<sup>140</sup> Os *closures* dos experimentos são apresentados no ANEXO B.

<sup>141</sup> O termo “*closure*” macroeconômico foi utilizado por Sem (1963) para definir uma situação na qual não existe mecanismo intertemporal para definir o investimento, ou seja, o modelo precisa ser “fechado” em determinado ponto do tempo.

Neste trabalho, as restrições quantitativas das emissões de CO<sub>2</sub> são praticadas tornando-se endógena a variável de taxação real sobre o carbono RCTAX (imposto nominal deflacionado pelo deflator do PNB) e, exógena, a taxa de crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> (gco2t). Esse procedimento permite que seja dado um choque na variável exógena com a restrição de emissões que se pretende impor.<sup>142</sup> Esse arranjo permite que sejam simuladas as restrições de emissões que foram acordadas pelo Protocolo de Quioto.

Para estabelecer o comércio de emissões foi necessário, primeiramente, identificar o grupo de países/regiões aos quais as restrições serão impostas.<sup>143</sup> Estabelecido esse grupo, a próxima etapa prevê que a restrição global de emissões seja igual à soma das restrições individuais dos mesmos. Ou seja, deve-se atentar para que a soma das quotas individuais dos países/regiões (gco2q), exógenas para este caso, fique consistente com a restrição total de emissões (variável gmarkco2t) para que se evite desequilíbrio de fluxos de comércio. Nesse sentido, a variável gmarkco2t, que representa o crescimento das emissões totais, deve tornar-se exógena e assumir o valor da restrição total, ao mesmo tempo em que a variável que representa o custo marginal do abatimento correspondente ao grupo como um todo, MARKCTAX, deverá ficar endógena.

É preciso ainda providenciar para que a compra de direitos para emissões seja compensada por um correspondente aumento nas exportações de bens e serviços (ou vice-versa). Essa é uma condição necessária para satisfazer a exigência do modelo original GTAP de que os fluxos líquidos de capital com o resto do mundo sejam constantes. Em outras palavras, o fluxo de capital em cada país/região permanece constante e igual ao seu valor de *benchmark* de maneira que quaisquer fluxos associados ao comércio de emissões sejam compensados por um correspondente fluxo nas transações correntes. Isto é feito estabelecendo-se que as variações no saldo das transações correntes, incluindo comércio de permissão de emissões (variável DTBALCTRA) sejam exógenas e iguais à zero para todas as regiões (exceto uma).

---

<sup>142</sup> Se o interesse do pesquisador for impor um imposto em vez de uma quota, deve-se deixar **gco2t** se ajustar endogenamente.

<sup>143</sup> Isto é feito selecionando-se o coeficiente D\_MARK para assumir valores iguais a um para os países participantes do esquema de comércio de permissões de emissões.

### *Impactos Econômicos*

Comparando-se os ganhos de bem-estar econômico representados pela EV na Tabela 3.7 com os do experimento anterior (Tabela 3.2), observa-se que houve uma redução expressiva no ganho de todas as regiões do modelo. No Brasil, o ganho que era de US\$ 1,4 bilhão caiu para menos da metade (US\$ 678 milhões). No México houve até troca de sinal, ou seja, de um ganho de US\$ 431 milhões, este país da ALCA passa a amargar uma perda de bem-estar econômico no montante de US\$ 44 milhões. Analisando-se a decomposição do bem-estar do Brasil, os dados revelam que a perda de eficiência na alocação dos recursos foi a principal causa do menor ganho desta simulação (US\$ 765 milhões contra US\$ 1,3 bilhão da simulação anterior). Os termos de troca, a exemplo do que ocorreu na simulação anterior, também apresentaram perdas, embora em proporção bem maior (US\$ 209 milhões contra US\$ 26 milhões).

**Tabela 3.7 - Variação do bem-estar e sua decomposição – US\$ milhões**

<b>Regiões</b>	<b>EV</b>	<b>Alocativo</b>	<b>Termos de troca</b>	<b>CO<sub>2</sub>Trade*</b>	<b>I-S</b>
<b>Brasil</b>	677,76	765,36	-209,32	65,24	56,51
<b>EUA</b>	1477,42	-940,76	5246,89	-3245,70	414,88
<b>México</b>	-44,27	42,28	-138,90	98,38	-45,97
<b>Canadá</b>	-1628,43	-466,54	-750,94	-394,07	-17,14
<b>RMERC</b>	-306,02	-189,21	-154,28	68,05	-30,55
<b>RALCA</b>	1845,88	1434,25	422,22	170,19	-180,68
<b>UE</b>	-4215,25	-2677,10	595,81	-2029,01	-106,26
<b>OANEX1</b>	-9842,70	-5235,25	-1580,30	-3007,61	-21,49
<b>OGEMISS</b>	-2882,30	-7436,72	-3293,53	7943,63	-90,53
<b>ROW</b>	-406,24	-532,75	-146,51	252,44	20,74

**Fonte:** Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

\* Fluxos provenientes do comércio de emissões.

Os principais responsáveis pela redução da eficiência alocativa foram os setores de energia (principalmente derivados de petróleo e eletricidade). O ganho que era de US\$ 1,1 bilhão passou para US\$ 797 milhões (Tabelas 3.2 e 3.8). Quanto aos termos de troca,

obtiveram-se perdas nos setores de eletricidade, indústrias intensivas em energia e outras indústrias e serviços. Em relação ao cenário anterior, houve uma piora significativa nos setores de indústrias intensivas em energia (de um ganho US\$ 212 milhões para uma perda de US\$ 191 milhões) e uma melhora nos termos de troca do setor agropecuário (perda de US\$ 214 milhões para um ganho de US\$ 90 milhões).

**Tabela 3.8 – Decomposição do bem-estar no Brasil por setor – US\$ milhões**

Setores	Efeito alocativo	Termos de troca
Agropecuária	15,89	90,34
Carvão	-5,61	11,96
Petróleo cru	-3,28	82,67
Gás natural	-1,11	0,03
Derivados P&C	-69,71	27,75
Eletricidade	-11,57	-72,42
Ind.Int.Energia	74,88	-191,41
Out.Ind.e Serv.	796,94	-158,53
Total	796,42	-209,6

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

A introdução do sistema de comércio de permissão de emissões trouxe um elemento novo para a análise de decomposição de bem-estar: o fluxo de divisas do comércio de emissões (representado por CO<sub>2</sub>Trade na Tabela 3.7).<sup>144</sup> Como exposto no Capítulo 2, o fluxo monetário decorrente do comércio de créditos de emissão de CO<sub>2</sub> deve ser compensado por um correspondente fluxo de divisas do comércio de bens e serviços. Essa situação está ilustrada na Tabela 3.9, onde se observa que, no caso do Brasil, o saldo positivo de divisas decorrentes da redução de emissões (co2trd) possibilitou um déficit adicional em conta corrente (CCOR) de igual montante.

<sup>144</sup> O sinal positivo indica venda de permissões, e o sinal negativo, compra.

**Tabela 3.9 – Fluxo monetário internacional no cenário de comércio de emissões – US\$ milhões**

<b>Fluxo</b>				
<b>País</b>	<b>co2trd</b>	<b>CCOR</b>	<b>CCAP</b>	<b>Total</b>
<b>Brasil</b>	65	-22025	21960	-1
<b>EUA</b>	-3246	-146962	150221	14
<b>México</b>	98	13387	-13486	0
<b>Canadá</b>	-394	18415	-18020	1
<b>RMERC</b>	68	-5490	5422	0
<b>RALCA</b>	170	-21001	20830	-1
<b>UE</b>	-2029	94712	-92680	3
<b>OANEX1</b>	-3008	107873	-104861	4
<b>OGEMISS</b>	7944	41438	-49402	-21
<b>ROW</b>	252	-80346	80093	-1
<b>Total</b>	-78	0	77	-1

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

Observa-se que os principais vendedores de permissões de emissão foram aqueles países/regiões que não foram restringidos em suas emissões de CO<sub>2</sub> diretamente. A região OGEMISS obteve US\$ 7,9 bilhões e colocou-se como o principal fornecedor de permissões de emissões do modelo. A razão para isso deve-se ao fato de essa região aparecer como grande poluidora e, portanto, com grande potencial para reduzir emissões.

<sup>145</sup> O Brasil também se tornou um vendedor líquido de emissões no valor de US\$ 65 milhões. Os maiores compradores nesse mercado foram, respectivamente, os EUA, OANEX1 e EU, sendo que o primeiro apresentou uma compra equivalente a US\$ 3,2 bilhões. Essa compra de permissão de emissões das outras regiões explicou quase a totalidade da perda de bem-estar dos EUA da simulação anterior para esta (US\$ 4,8 para US\$ 1,5 bilhão).

A Tabela 3.10 mostra que os resultados apontaram um claro declínio dos principais indicadores econômicos nesta simulação em relação à anterior, na qual somente os choques nas tarifas foram implementados. A taxa de crescimento do PIB caiu para todas as regiões, chegando até mesmo a ocasionar recessão nos EUA, Canadá e RMERC. No Brasil, a taxa de crescimento caiu quase pela metade (de 0,17% - que na

<sup>145</sup> Ver Figura 2.6 e Quadro 2.3 no Capítulo 2.

primeira simulação não contemplava restrições de CO<sub>2</sub> - para 0,1%). Apesar de os países não integrantes do Anexo I do Protocolo de Quioto não restringirem suas emissões diretamente, como é o caso do Brasil, as suas participações em um mecanismo de comércio de emissões, como nesta simulação, os coloca como co-responsáveis das emissões dos países do Anexo I. Portanto, sobre os primeiros incide um imposto nominal sobre a emissão de carbono que, conseqüentemente, reduz a produção nos setores que mais utilizam energia.

**Tabela 3.10 – Variação percentual do produto total e por setor na ALCA**

	<b>Brasil</b>	<b>EUA</b>	<b>México</b>	<b>Canadá</b>	<b>RMERC</b>	<b>RALCA</b>
<b>PIB (<i>qgdp</i>)</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>-0,07</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,32</b>
<b>Agropecuária</b>	0,15	-0,84	-0,26	-0,26	0,28	0,38
<b>Carvão</b>	-16,3	-18,2	-12,92	-17,2	-14,6	-20,15
<b>Petróleo cru</b>	-4,87	-2,87	-2,87	-2,67	0,63	-4,79
<b>Gás natural</b>	-5,08	-12,27	-7,18	-9,92	-11,82	-19,69
<b>Derivados P&amp;C</b>	-1,6	-4,63	-3,7	-3,1	-3,34	7,93
<b>Eletricidade</b>	0,58	-2,2	-4,08	0,47	-2,17	-0,34
<b>Ind.Int.Energia</b>	0,38	-0,23	0,2	-0,15	0,09	-0,56
<b>Out.Ind.e Serv.</b>	-0,08	-0,04	0,09	0	-0,08	0,36
<b>CGDS</b>	0,09	0,01	0,19	-0,07	0,13	0,75

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

Como era de se esperar, os setores que mais se contraíram foram aqueles que sofreram a interferência indireta das restrições de emissões via participação no comércio de emissões, ou seja, os de *commodities* de energia. Os setores mais atingidos no Brasil foram os de carvão (-16,3%), gás natural (-5,1%), petróleo bruto (-4,9%) e, derivados de petróleo (-1,6%), como ilustrado na Tabela 3.8. O setor de eletricidade apresentou um pequeno aumento na produção de 0,58%. A razão para esse setor não ter sido atingido pelas restrições de emissões deve-se ao motivo que a geração de energia elétrica no Brasil

é feita predominantemente através de hidrelétricas, modo de geração de energia que não gera emissão de carbono.<sup>146</sup>

A Tabela 3.11 ilustra a questão da substituição entre combustíveis para o Brasil na simulação Alca1 através da variação percentual da demanda pelos compostos da estrutura produtiva exibida nas Figuras 2.2 e 2.3 do Capítulo 2. O objetivo dessa exposição é mostrar como se dá o funcionamento desse importante aspecto incorporado no GTAP.<sup>147</sup> Como comentado anteriormente, este modelo não admite substituição entre combustíveis para os setores produtores de energia (exceto eletricidade). Esse aspecto fica evidente através da observação das taxas constantes de redução da demanda pelos compostos para as indústrias produtoras de energia. Esses compostos sofreram reduções de 27,6%, 8,0%, 5,5% e 1,3%, respectivamente nos setores de carvão, petróleo, gás natural, e derivados de petróleo e carvão.<sup>148</sup>

Por outro lado, nos setores não-energia, juntamente com o setor de eletricidade, houve variações nas demandas de todos os compostos. Os compostos não-elétrico e não-carvão, por exemplo, obtiveram suas maiores variações negativas no setor de eletricidade com -10,2% e -5,2%, respectivamente. Esse primeiro resultado pode ser explicado pela diferença de preços das *commodities* dos compostos não-elétrico e os de energia ( $pn_{el}$  e  $pen$  na equação NELYDEMAND). Diferença esta que ficou em torno de 10% (16,07% menos 6%) e que, por sua vez, foi inteiramente transmitida para a variação percentual da quantidade, uma vez que a elasticidade de substituição nesse nível da estrutura de produção é unitária. O composto não-carvão (NCOALDEMAND), por sua vez, teve a variação em sua demanda explicada pelo diferencial de preços ( $pn_{coal} - pn_{el}$ ) igual a -11,4%, amortecido pela elasticidade de substituição  $ELCO = 0,5$  e somado a demanda do nível anterior (10,2%).<sup>149</sup>

<sup>146</sup> Não é o caso, por exemplo, de países que têm o carvão e petróleo como insumo básico para a geração de eletricidade como, por exemplo, EUA (-2,2%), México (-4,1%) e OGEMISS (-5,33%), onde se encontram China e Índia (grandes produtores de carvão).

<sup>147</sup> A descrição a seguir não será feita para os outros países e simulações.

<sup>148</sup> Esse resultado é decorrência dos parâmetros iguais a zero para a substituição intercombustível no interior dos ninhos de capital-energia, energia, não-elétrico e não-carvão (equações KDEMAND, ENDEMAND, NELYDEMAND e NCOALDEMAND no Quadro A.7 do anexo A).

<sup>149</sup> Ver Tabela 2.1 e Anexo A (Quadro A-7).

Tabela 3.11 – Demanda no interior dos “ninhos” da estrutura produtiva no Brasil (variação %)

Setores	Composto K+E	Composto Energia	Composto não-elétrico	Composto não-carvão
Agropecuária	0,18	-0,69	-1,13	-1,13
Carvão	-27,60	-27,60	-27,60	-27,60
Petróleo cru	-8,01	-8,01	-8,01	-8,01
Gás natural	-5,47	-5,47	-5,47	-5,47
Derivados P&C	-1,29	-1,29	-1,29	-1,29
Eletricidade	-1,02	-1,69	-10,22	-5,22
Ind.Int.Energia	0,11	-0,78	-2,24	-1,35
Out.Ind.e Serv.	-0,07	-0,88	-1,42	-1,40
CGDS	0,09	0,09	0,09	0,09

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

### *Impactos Ambientais*

Ao contrário da simulação anterior, este cenário produziu resultados ambientais positivos (diminuição) no que diz respeito à redução de emissões de CO<sub>2</sub> em todas as regiões do modelo (Tabela 3.12). Países/regiões da ALCA, como Brasil, EUA, México e RALCA que anteriormente tiveram suas emissões aumentadas em função da formação da área de livre-comércio, nesta simulação reduziram suas emissões em 3,7%, 10,9%, 4,6% e 6,1%, respectivamente. A maior redução de CO<sub>2</sub> ficou por conta de OGEMISS (-16,3%) tendo como maior responsável para este resultado a redução das emissões da *commodity* carvão (-26,4%). Com efeito, essa *commodity* foi a maior responsável pela redução de emissões em quase todas as regiões, e isso se deveu ao aumento do seu preço no mercado mundial e a conseqüente redução do seu uso.<sup>150</sup>

A segunda maior fonte de redução de emissões ficou por conta do setor de gás natural, que no RALCA foi o protagonista principal, atingindo um arrefecimento de

<sup>150</sup> Nesta simulação o preço médio do carvão na região OGEMISS aumentou 87%. Este resultado ficou bem acima do das outras regiões, cujo aumento ficou em torno de 30%.

20,1%. Esta *commodity* só perdeu a segunda posição no Brasil e México, cujas maiores reduções, depois do carvão, tiveram origem no petróleo cru. As *commodities* que geraram as menores reduções nas emissões foram as de derivados P&C e eletricidade.

Tabela 3.12 – Emissões totais e por *commodity* de energia (variação %)

<b>Regiões</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Total</b>	<b>Carvão</b>	<b>Petróleo cru</b>	<b>Gás natural</b>	<b>Derivados P&amp;C</b>	<b>Eletricidade</b>
<b>Brasil</b>		-3,69	-14,34	-7,62	-5,1	-1,32	-0,01
<b>EUA</b>		-10,88	-18,21	-11,09	-11,64	-4,16	-2,06
<b>México</b>		-4,59	-12,77	-8,34	-7,02	-3,04	-3,96
<b>Canadá</b>		-7,85	-15,18	-6,77	-11,62	-1,85	-0,39
<b>RMERC</b>		-6,98	-14,29	-11,12	-11,65	-1,16	-1,89
<b>RALCA</b>		-6,09	-14,67	-5,1	-20,12	0,16	-0,09
<b>UE</b>		-5,4	-14,69	-11,44	-7,21	-0,05	-1,63
<b>OANEX1</b>		-7,72	-15,55	-8,78	-6,44	-1,14	-1,91
<b>OGEMISS</b>		-16,33	-26,36	-9,7	-9,23	-3,33	-4,82
<b>ROW</b>		-6,64	-14,59	-8,1	-7,23	-2,4	-1,32

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

A Tabela 3.13 apresenta a Matriz de Contabilidade Social do Brasil (MCS) para a simulação Alca1.<sup>151</sup> A apresentação deste instrumento deve-se ao fato de se desejar ilustrar o mecanismo de funcionamento do comércio de emissões em determinada região. Existem doze tipos de agentes envolvidos nas transações dessa matriz. As oito primeiras entradas (agropecuária, carvão, petróleo cru, gás natural, produtos derivados de petróleo e carvão, eletricidade, indústrias intensivas em energia, e outras indústrias e serviços) representam a matriz de insumo-produto. As quatro seguintes (terra, trabalho, capital e

<sup>151</sup> A Matriz de Contabilidade Social é um conveniente instrumento de análise, uma vez que mostra uma situação de equilíbrio em que todas as fontes de renda são exauridas nos gastos de todos os agentes.

recursos naturais) são os fatores de produção. Um agente privado doméstico (PHH), o governo (GOV), um setor de investimento (CGDS), o agente doméstico regional (RHH), uma agência de carbono (CAG), e os saldos dos fluxos comerciais com o setor externo (ROW) completam a matriz. As entradas nas colunas representam os pagamentos feitos, enquanto que as linhas, os recebimentos ocorridos no cálculo da MCS.

Uma forma de se interpretar os fluxos de renda associados com o comércio de emissões é assumir que a restrição de emissões é imposta através de um mercado doméstico de direitos de emissões. As receitas da venda desses direitos (receita do imposto sobre o carbono) são recebidas por uma espécie de Agência de Carbono (CAG) que, no Brasil, receberiam um total de US\$ 1,7 bilhão. Desta receita 34,8% (US\$ 620 milhões) seriam oriundas do agente privado doméstico (PHH), 24,2% (US\$ 430 milhões) do setor de outras indústrias e serviços, 22,2% (US\$ 395 milhões) seriam referentes aos pagamentos feito pelas indústrias intensivas em energia, 11,5% (US\$ 204 milhões) pelo setor de eletricidade, e aproximadamente 3% (US\$ 64 e US\$ 66 milhões, respectivamente) dos setores agropecuário e ROW (resto do mundo na sigla em inglês). O valor de US\$ 66 milhões referente à receita do comércio de emissões com os outros países do modelo encontra-se representado por um pagamento efetuado pelo ROW.<sup>152</sup>

---

<sup>152</sup> A divergência desse valor em relação aos US\$ 65 milhões exibidos nas Tabelas 3.7 e 3.9 dá-se em função de arredondamentos feitos para os cálculos na equação deste item na MCS.

Tabela 3.13 – Matriz de Contabilidade Social do Brasil – Simulação Alca1 – US\$ milhões

MCS	Agrop.	Carvão	Petr.	Gas	Derivados P&C	Eletric.	Ind.Int.En.	Out.Ind.Ser	Fatores Produção*	RecNat	PHH	GOV	CGDS	RHH	CAG	ROW	Total
Agropecuária	16340	0	0	0	12	15	7228	56162	0	0	26520	0	2749	-7	0	7154	116173
Carvão	0	0	0	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77
Petróleo cru	0	0	0	0	5383	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	28	5414
Gás natural	9	0	0	78	4	109	328	149	0	0	12	0	0	0	0	0	690
Derivados P&C	747	0	0	6	699	423	2695	4469	0	0	3849	0	0	-37	0	461	13313
Eletricidade	611	0	0	1	1	2913	4655	6764	0	0	3905	0	0	0	0	0	18850
Ind.Int.Energia	11342	3	74	4	265	82	56725	75889	0	0	24731	0	5	-378	0	16671	185413
Out.Ind.e Serv.	15953	27	1920	334	1241	6692	47309	394501	0	0	383583	145404	128939	-194	0	43404	1169113
Terra	11481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11481
Trabalho	16853	3	217	138	605	4542	23505	325401	0	0	0	0	0	0	0	0	371264
Capital	42344	19	1584	87	791	2005	26328	278241	0	0	0	0	0	0	0	0	351397
Rec.Nat.	590	20	1138	14	0	0	806	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2568
PHH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	507777	0	0	507777
GOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145463	0	0	145463
CGDS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42925	0	21960	64884
RHH	-722	0	1	1	18	103	1212	-13567	734142	2568	50614	3	-80605	615	1779	0	696164
CAG	64	0	0	1	1	204	395	430	0	0	620	0	0	0	0	66	1779
ROW	561	5	479	27	4293	1686	14225	40674	0	0	13942	55	13797	0	0	0	89744
Total	116173	77	5414	690	13313	18850	185413	1169113	734142	2568	507777	145463	64884	696164	1779	89744	3751566

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

\* Somatório dos três fatores de produção (terra, trabalho e capital).

A Tabela 3.14 ilustra a origem das receitas obtidas pela CAG pelo uso das *commodities* de energia pelos agentes. Cerca de 80% dessas receitas são originadas do uso dos derivados de petróleo e carvão. O gasto do agente privado regional (PHH) pelo uso dessa *commodity* chega a US\$ 618 milhões de um total de US\$ 620 milhões, dos quais 92% são de origem doméstica (US\$ 571 milhões). O setor elétrico paga cerca de US\$ 157 milhões pela utilização de carvão sendo que 83% desse montante referem-se a este produto com origem no exterior (US\$ 131 milhões).

**Tabela 3.14 - Origem das receitas da Agência de Carbono no Brasil – US\$ milhões**

Prod. / Setor	Carvão		Petróleo cru		Gás natural		Derivados P&C		TOTAL
	Dom	Imp	Dom	Imp	Dom	Imp	Dom	Imp	
Agropecuária	0	0	0	0	1,27	0	55,26	7,1	63,63
Carvão	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Petróleo cru	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0,02
Gás natural	0	0	0	0	0	0	0,43	0,16	0,6
Derivados P&C	0	0	0	0	0,50	0	0	0	0,51
Eleticidade	26,04	130,77	0	0	13,75	0	31,65	1,94	204,16
Ind.Int.Energia	0,07	96,12	0,36	0,27	43,17	0,07	190,67	64,13	394,85
Out.Ind.e Serv.	0,02	2,93	0,08	0,06	19,87	0,08	347,94	58,89	429,87
CGDS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PHH	0	0	0	0	1,69	0,03	571,04	47,23	619,99
Total	26,13	229,83	0,44	0,33	80,25	0,18	1197,00	179,45	1713,63

Fonte: Valores resultantes da simulação do cenário Alca1.

Os resultados obtidos na simulação do experimento Alca1, tanto na avaliação do bem-estar econômico como na atividade produtiva, sugerem que a piora destes indicadores em relação ao experimento Alca foi devido basicamente aos choques de redução de emissão de CO<sub>2</sub>. Estes resultados, de certa forma esperados, possivelmente foram uma consequência da modelagem do experimento. A seguir procura-se isolar os

efeitos das reduções de emissões ao se construírem cenários somente com a implementação do Protocolo de Quioto.

### **3.2 Cenários exclusivos com o Protocolo de Quioto**

Os choques de reduções de emissões agem como impostos nos setores produtivos deste modelo, encarecendo os produtos cuja elaboração demanda mais energia. Assim, por um lado, têm-se variações positivas nos indicadores de bem-estar econômico, referente aos benefícios da retirada das distorções causadas pelas tarifas de comércio (experimento Alca); por outro, abstraindo-se os ganhos de bem-estar causados pela redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre, obtém-se perda de eficiência econômica referente à internalização dos custos das externalidades causadas pelas emissões (Alca1). Com o objetivo de avaliarem-se isoladamente as possíveis conseqüências em termos de bem-estar econômico e emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da implementação do Protocolo de Quioto, a seguir simulam-se alguns possíveis desdobramentos do mesmo. Foram simulados cinco cenários que se descrevem em maiores detalhes a seguir.<sup>153</sup>

#### *a) PQ1 – Protocolo de Quioto e comércio mundial de emissões*

Este experimento trata-se da repetição da simulação Alca1, ou seja, a implementação do Protocolo de Quioto e comércio de permissões de emissões de CO<sub>2</sub> entre todas as regiões do modelo, entretanto, com a ausência da remoção dos gravames tarifários que a ALCA iria proporcionar.

---

<sup>153</sup> Os choques nos mesmos estão sumarizados no Quadro 3.1.

*b) PQ2 - Protocolo de Quioto (sem a participação dos EUA) e Comércio de Emissões entre as regiões do Anexo I*

Este experimento simulou a efetivação do Protocolo de Quioto com duas alterações em relação ao caso anterior: os EUA não participam do acordo de redução de emissões, e o comércio de emissões ficou restrito aos países do Anexo I (exceto os EUA).<sup>154</sup> Esta situação é a que mais se aproximou da realidade que se vivia no momento em que este trabalho foi desenvolvido. A primeira alteração vem ao encontro do que aconteceu em 2001. Sob os argumentos de incerteza para os potenciais danos da mudança climática e que os países pobres deveriam fazer parte do tratado e serem forçados também a reduzir emissões ao mesmo tempo em que os países ricos, a administração Bush voltou atrás e desfez o compromisso assumido na ocasião da elaboração do referido documento. A outra modificação refere-se ao fato que o comércio de emissões, como consta no texto original do Protocolo de Quioto, restringe-se somente aos países participantes do Anexo I.

Experimento País	PQ1		PQ2		PQ3		PQ4		PQ5	
	$\Delta\text{CO}_2$	PART.								
Brasil	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
EUA	-20%	Sim	-	Não	-20%	Não	-20%	Sim	-20%	Sim
México	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
Canadá	-20%	Sim	-20%	Sim	-20%	Não	-20%	Sim	-20%	Sim
RMERC	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
RALCA	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
UE	-15%	Sim	-15%	Sim	-15%	Não	-15%	Sim	-15%	Sim
OANEX1	-20%	Sim	-20%	Sim	-20%	Não	-20%	Sim	-20%	Sim
OGEMISS	-	Sim	-	Não	-	Não	-15%	Sim	-	Não
ROW	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não

**Quadro 3.1 – Sumário dos choques nos cenários exclusivos com o Protocolo de Quioto**

Nota: PART. significa que a região tem participação no comércio de emissões de CO<sub>2</sub>.

<sup>154</sup> Esta suposição é mais realista do que a da simulação anterior, uma vez que os EUA, sob a administração Bush, recusaram-se a assinar o Protocolo de Quioto em 2002, sob o argumento que isso prejudicaria o desempenho econômico do país.

*c) PQ3 - Protocolo de Quioto sem Comércio de Emissões*

Neste cenário é feita uma simulação para a efetivação do Protocolo de Quioto sem a possibilidade da utilização do mecanismo de flexibilidade entre quaisquer regiões do modelo. Essa configuração impõe aos signatários do Protocolo a obrigatoriedade de atingirem individualmente suas metas de redução de emissões. Teoricamente, este cenário deveria impor aos membros do Anexo I um custo de abatimento superior ao que seria em um ambiente com mecanismos de flexibilidade.

*d) PQ4 - Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões do modelo e 15% de redução para OGEMISS*

O cenário a seguir é similar ao PQ1 (comércio de emissões entre todas as regiões) com a diferença de que esse simula uma redução adicional de emissão de 15% para OGEMISS, pois, nesta região, tem-se grandes emissores de CO<sub>2</sub>, tais como, a China e a Índia. A simulação deste cenário foi motivada por um dos argumentos utilizados pelos americanos para não participarem da redução de emissões prevista pelo Protocolo de Quioto, ou seja, que os países em desenvolvimento não compartilhariam do sacrifício econômico gerado pelo acordo.

*e) PQ5 - Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre as regiões do Anexo I*

Neste cenário tem-se a simulação da situação de implementação do Protocolo de Quioto nos moldes acertados pelo acordo de 1997. Nesse documento foi previsto que, além das reduções de emissões, os integrantes do Anexo I poderiam comercializar cotas de emissões entre si.<sup>155</sup>

---

<sup>155</sup> Protocolo de Quioto (1997).

### *Impactos econômicos*

A Tabela 3.15 mostra os ganhos (perdas) de bem-estar representado pela variação equivalente da renda nos cinco cenários simulados nesta seção.<sup>156</sup> Em termos globais, o cenário que mais impôs perdas foi o denominado de PQ3.<sup>157</sup> Este resultado negativo, que superou inclusive o do PQ4, pode ter sido consequência da total ausência de possibilidade de comércio de emissões de CO<sub>2</sub> entre quaisquer países/regiões do modelo.<sup>158</sup> Em termos regionais, observa-se que, para os países integrantes do Anexo I (Canadá, EU e OANEX1), com exceção do EUA, o melhor e o pior resultado foram obtidos, respectivamente, pelos experimentos PQ1 e PQ3. Teoricamente esse é um resultado esperado, visto que a inexistência da possibilidade de os países/regiões comercializarem permissões para emitir CO<sub>2</sub> aumenta significativamente o custo que os mesmos terão para abater suas emissões e atingir suas metas individualmente.<sup>159</sup>

Dos países que abateram emissões, os EUA são o único que não segue o resultado preconizado pela teoria, visto que as simulações PQ1, PQ4 e PQ5 (permitem comércio de emissões) oferecem resultados piores em termos de bem-estar do que PQ3, por exemplo.<sup>160</sup> Apesar disso, o melhor resultado para este país, supondo que o mesmo abate emissões e participa do comércio de emissões, seria fazer parte do experimento PQ4, cujo ônus da redução de emissões é dividido entre um maior número de países.<sup>161</sup>

---

<sup>156</sup> Este tipo de comparação (em termos absolutos) só tem efeito se se considerarem os países/regiões isoladamente. Além disso, deve-se ter em mente que a medida de bem-estar deste modelo não leva em consideração as reduções de emissões de CO<sub>2</sub> no seu cálculo, uma vez que esta característica não está contida na função de utilidade do agente representativo do mesmo.

<sup>157</sup> No somatório global da EV para as regiões do modelo (WEV), obtiveram-se os seguintes resultados em US\$ Bilhões: PQ1= - 17,7, PQ2 = - 27,2, PQ3= - 48,2, PQ4= - 34,5 e PQ5= - 25,2.

<sup>158</sup> O Experimento PQ4 foi o que impôs o maior choque de redução de emissões totais.

<sup>159</sup> Segundo Princípio Equimarginal ou Princípio Equimarginal de Custo-Efetividade, a alocação de custo mínimo de um objetivo ambiental é atingida quando o custo marginal de todos meios possíveis de se empregar é igualado (Tietenberg, 1992). Em outras palavras, países com custos marginais de redução de emissões maiores podem comprar direitos de emissão daqueles com custos marginais menores e ambos saírem em situação melhor.

<sup>160</sup> Apesar de contra-intuitivo, este resultado pode ser explicado por outros fatores como, por exemplo, os ganhos provenientes da melhoria dos termos de troca.

<sup>161</sup> O melhor resultado para os EUA seria obtido com o experimento PQ2, pois, neste, não existe ônus de abatimento de emissões.

**Tabela 3.15 – Variação do bem-estar econômico (EV) – US\$ milhões**

<b>Regiões</b>	<b>PQ1</b>	<b>PQ2</b>	<b>PQ3</b>	<b>PQ4</b>	<b>PQ5</b>
<b>Brasil</b>	122,62	44,04	207,58	264,79	115,11
<b>EUA</b>	-3019,46	-149,41	-2211,17	-2711,34	-3480,59
<b>México</b>	-415,73	-109,48	-641,49	-615,06	-359,16
<b>Canadá</b>	-1423,86	-1434,77	-2823,12	-2175,71	-1678,89
<b>RMERC</b>	-221,25	-25,95	-82,81	-322,13	-40,80
<b>RALCA</b>	-702,56	-136,32	-832,65	-984,31	-480,18
<b>UE</b>	-1705,79	-11302,05	-15326,12	-2426,92	-6936,13
<b>OANEX1</b>	-8354,91	-12978,60	-20135,63	-12672,09	-10662,38
<b>OGEMISS</b>	-1741,92	-2153,66	-6515,27	-12669,14	-3418,00
<b>ROW</b>	-259,53	1009,65	119,85	-188,74	1729,74

Fonte: Valores resultantes das simulações do Protocolo de Quioto.

Este “padrão” de resultados que é obtido pelos integrantes do Anexo I decorre do fato que a teoria do modelo GTAP-E “pulveriza” o custo de abatimento de carbono entre os participantes do mercado de comércio de emissões.<sup>162</sup> No experimento PQ3, que não possui comércio de emissões, o custo de abatimento para os países/regiões do Anexo I varia de aproximadamente US\$ 48 a US\$ 71 por tonelada de carbono (Tabela 3.16). Por outro lado, na simulação PQ1 (com comércio mundial de emissões), por exemplo, este custo fica “diluído” em torno de US\$ 22 por tonelada de carbono. Quando o comércio de emissões fica restrito aos países pertencentes ao Anexo I (PQ5), este custo é de aproximadamente US\$ 28.

Apesar de não se ter podido traçar uma linha de comportamento padronizada quanto às demais regiões do modelo em relação ao mercado de emissões, podem-se evidenciar alguns resultados interessantes do ponto de vista da modelagem dos experimentos. As regiões México, RMERC e RALCA, por exemplo, obtiveram seus melhores resultados com o experimento PQ2. Essa situação pode ser uma consequência da dependência dessas regiões em relação à economia americana, pois foi nesse cenário que os EUA não participaram do Protocolo de Quioto. Por outro lado, a simulação do cenário PQ4 foi a que impôs as maiores perdas para as regiões RMERC, RALCA, e

<sup>162</sup> Como explicado no capítulo 2, item 2.2.4.

OGEMISS. A causa provável desse acontecimento pode ser a maior restrição de emissão traduzida pelo choque maior de redução de CO<sub>2</sub> neste experimento. O Brasil, curiosamente, foi a única região a obter ganhos de bem-estar econômico em todas as simulações.<sup>163</sup> Os melhores resultados foram proporcionados pelos experimentos PQ4 e PQ3 e, os piores, pelos experimentos PQ2 e PQ5, respectivamente.

**Tabela 3.16 – Imposto (real) em US\$ de 1997 por tonelada de carbono**

<b>Regiões</b>	<b>PQ1</b>	<b>PQ2</b>	<b>PQ3</b>	<b>PQ4</b>	<b>PQ5</b>
<b>Brasil</b>	22,78	0,00	0,00	38,08	0,00
<b>EUA</b>	22,53	0,00	47,68	37,69	28,63
<b>México</b>	22,83	0,00	0,00	38,23	0,00
<b>Canadá</b>	22,65	35,57	67,67	37,92	28,77
<b>RMERC</b>	22,26	0,00	0,00	37,27	0,00
<b>RALCA</b>	22,58	0,00	0,00	37,81	0,00
<b>UE</b>	22,54	35,47	71,30	37,72	28,65
<b>OANEX1</b>	22,56	35,50	70,80	37,77	28,67
<b>OGEMISS</b>	22,54	0,00	0,00	37,74	0,00
<b>ROW</b>	22,54	0,00	0,00	37,70	0,00

Fonte: Valores resultantes das simulações do Protocolo de Quioto.

A atividade econômica, representada pela variável *qgdp* na Tabela 3.17 (índice de quantidade do PIB), teve resultados negativos inequívocos nos experimentos PQ1 e PQ4. Novamente, podemos atribuir esse resultado ao envolvimento de todas as regiões no abatimento de CO<sub>2</sub> através do comércio de emissões, salientando, entretanto, que os resultados no experimento PQ4 foram piores do que no PQ1 devido ao abatimento adicional de 15% por parte de OGEMISS (Quadro 3.1). Nos demais experimentos, observou-se que a perda de produto ocorreu somente nos países do Anexo I, ou seja, naqueles em que ocorreu redução de emissões diretamente.

<sup>163</sup> Investiga-se com maior profundidade essa questão na seção 3.3 deste capítulo.

Tabela 3.17 – Variação % do PIB (índice de quantidade de PIB – *qgdp*)

Regiões	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	PQ5
<b>Brasil</b>	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01
<b>EUA</b>	-0,02	0,00	-0,08	-0,06	-0,04
<b>México</b>	-0,03	0,00	0,03	-0,06	0,02
<b>Canadá</b>	-0,09	-0,19	-0,36	-0,16	-0,13
<b>RMERC</b>	-0,05	0,00	0,02	-0,08	0,01
<b>RALCA</b>	-0,09	0,01	0,01	-0,17	0,01
<b>UE</b>	-0,03	-0,14	-0,24	-0,05	-0,08
<b>OANEX1</b>	-0,08	-0,17	-0,36	-0,15	-0,13
<b>OGEMISS</b>	-0,19	0,00	0,01	-0,38	0,01
<b>ROW</b>	-0,06	0,04	0,03	-0,10	0,06

Fonte: Valores resultantes das simulações do Protocolo de Quioto.

### *Impactos Ambientais*

Em termos globais, todos os cenários produziram reduções da emissão de CO<sub>2</sub> (Tabela 3.18). Como era de se esperar, as simulações dos cenários PQ1 e PQ4 foram as que tiveram melhores resultados, em que as regiões que mais reduziram suas emissões foram EUA (-10,9% e -16,4%) e OGEMISS (-16,2% e -22,7%). Este resultado é uma característica natural da forma como os cenários foram construídos, uma vez que, nesses, o comércio global de emissões oferece oportunidade para todos os países/regiões do modelo promover abatimento. Para os países/regiões participantes do Anexo I do Protocolo de Quioto, as maiores reduções são alcançadas de forma individual através do experimento PQ3. Nessa simulação, o abatimento de cada país é exatamente igual ao choque que foi imposto.

Por outro lado, nos experimentos em que não ocorreu o comércio de emissões, obtiveram-se taxas de emissão positivas em algumas regiões do modelo. Esse resultado pode ser uma evidência que corrobore a teoria do “escape de carbono”, uma vez que, quando acontece o abatimento no outros experimentos (PQ2, PQ3 e PQ5), tem-se também maiores emissões por parte das regiões que não abateram emissões. Essa questão

será investigada a seguir, mas com algumas alterações com relação aos experimentos acima, de forma a investigar esse fenômeno no âmbito da ALCA.

**Tabela 3.18 – Crescimento de emissões de CO<sub>2</sub> (variação %)**

<b>Regiões</b>	<b>PQ1</b>	<b>PQ2</b>	<b>PQ3</b>	<b>PQ4</b>	<b>PQ5</b>
<b>Brasil</b>	-4,93	0,59	2,04	-7,81	1,07
<b>EUA</b>	-10,95	0,26	-20,00	-16,48	-13,65
<b>México</b>	-4,84	0,35	1,53	-7,70	0,82
<b>Canadá</b>	-7,82	-12,42	-20,00	-12,04	-10,22
<b>RMERC</b>	-6,49	0,19	0,75	-10,01	0,40
<b>RALCA</b>	-7,86	0,75	2,65	-12,00	1,33
<b>UE</b>	-5,30	-9,14	-15,00	-8,11	-7,31
<b>OANEX1</b>	-7,64	-12,22	-20,00	-11,62	-10,08
<b>OGEMISS</b>	-16,23	-0,55	-0,44	-22,72	-0,32
<b>ROW</b>	-6,57	0,74	1,73	-10,08	0,99

Fonte: Valores resultantes das simulações do Protocolo de Quioto.

### *Escape de carbono na ALCA*

Como exposto no Capítulo 1, o vazamento ou “escape de carbono” ocorre quando os países/regiões que não participam do abatimento de emissões aumentam as mesmas como consequência da redução do preço da energia (aumento do uso) ocasionado pela redução das emissões em outros países e pelas inter-relações dos mercados. A razão para que se coloque esta questão sob análise tem como objetivo confrontar o argumento que a presença de escapes de carbonos positivos causaria dúvidas na efetividade da estratégia unilateral dos países signatários do Protocolo de Quioto. Este argumento baseia-se na hipótese de que grandes taxas de escape de carbono reforçariam os incentivos para

comportamento *free rider* dos países não-participantes do esquema de abatimento.<sup>164</sup> Portanto, reportar estes resultados podem contribuir para o confronto das opções de políticas comerciais/ambientais consideradas neste trabalho.

Para que se possa analisar esse fenômeno, no contexto da efetivação do acordo de comércio da ALCA, foi necessária uma nova gama de experimentos. Esses experimentos denominados de Alca1, Alca2, Alca3, Alca4 e Alca5, nada mais são do que os experimentos PQ1, PQ2, PQ3, PQ4 e PQ5 incorporando em seus choques a eliminação das tarifas de exportação e importação.<sup>165</sup> Os únicos experimentos que geraram escape de carbono positivo foram Alca2, Alca3 e Alca5 (uma vez que nesses existem países que não abatem emissões), diferentemente das simulações que permitem o comércio de emissões entre todos os países (Alca1 e Alca4).<sup>166</sup> A Tabela 3.19 ilustra as taxas de escape de carbono para os países/regiões que integrarão a ALCA.

**Tabela 3.19 – Taxas de escapes de carbono (variação %)**

	Alca2	Alca3	Alca5
Brasil	0,65	0,39	0,48
EUA	2,39	-	-
México	0,25	0,24	0,25
RMERC	-	0,02	-
RALCA	1,39	0,81	0,99
TOTAL	4,68	1,46	1,72

Fonte: Valores resultantes das simulações Alca2, Alca3 e Alca5.

<sup>164</sup> A literatura baseada na teoria dos jogos mostra que, quanto maiores as taxas de escape de carbono, menores são os esforços de coalizão para reduzir emissões (ver, por exemplo, Carraro (1998) e Botteon e Carraro (1998)).

<sup>165</sup> Na verdade, a simulação do cenário Alca1 já havia sido efetuada e seus resultados reportados no item 3.1.2 no presente capítulo.

<sup>166</sup> Em simulações feitas em Burniaux e Martins (2000), as taxas de escape em um contexto de permissão de comércio de emissões ficaram significativamente menores do que no caso em que este ambiente não ocorria.

Cabe o seguinte comentário: os valores encontrados para estas taxas foram naturalmente mais baixos do que os encontrados pela literatura mundial sobre mudança climática. Tal fato provavelmente ocorre porque, entre outras razões, as taxas de escape de carbono são calculadas para o mundo como um todo, enquanto que aqui é considerada somente a taxa de escape gerada pelos países membros da ALCA.<sup>167</sup> O cenário Alca2 foi o que produziu maior escape de carbono (4,7%). Isto ocorreu porque nesse, além da observância de taxas emissão maiores para Brasil e RALCA, os EUA não participam do Protocolo de Quioto (não abatem emissões) e do comércio de emissões. Este fato pode também ser o causador das taxas mais elevadas para o Brasil e RALCA, uma vez que a única diferença entre os experimentos Alca2 e Alca5 é justamente a participação americana.

Em conformidade com a teoria que trata do escape de carbono, os preços das *commodities* energia, na média, realmente diminuíram para aqueles países em que ocorreram as taxas positivas de escape de carbono. No Brasil, por exemplo, as maiores quedas de preço aconteceram no setor derivados de petróleo e carvão com -2,1%, -4,1% e -3,0%, nas simulações dos cenários Alca2, Alca3 e Alca5, respectivamente (Tabela 3.20). Para a região RALCA, esta redução foi realmente acentuada, variando entre -3,8% e -6,1%, nos setores de petróleo bruto e derivados de petróleo e carvão, nos três cenários.<sup>168</sup> Portanto, pode-se concluir que, sob este enfoque, a efetivação da ALCA e do Protocolo de Quioto simultaneamente produziriam menores escapes de carbono se, em primeiro lugar, fosse efetivado em um ambiente que permitisse os países comercializarem emissões; segundo, contasse com a participação dos EUA.

---

<sup>167</sup> Por exemplo, Light et al. (1999) encontraram 21% de escape de carbono para 2010.

<sup>168</sup> Deve-se atentar para o fato que não se pode creditar o escape de carbono unicamente ao preço das *commodities* de energia, pois como ressaltam Burniaux e Martins (2000), existe uma combinação de vários outros fatores que influenciam esse fenômeno (ver Capítulo 1).

Tabela 3.20 – Variação % do preço do composto energia – Brasil e RALCA

Setores	Alca2		Alca3		Alca5	
	Brasil	RALCA	Brasil	RALCA	Brasil	RALCA
<b>Agropecuária</b>	-0,73	-2,23	-1,47	-3,53	-1,15	-2,88
<b>Carvão</b>	-0,38	-1,23	-1,13	-2,39	-0,80	-1,40
<b>Petróleo cru</b>	-0,39	-3,77	-1,04	-5,61	-0,78	-4,66
<b>Gás natural</b>	0,32	0,58	0,45	0,65	0,22	0,44
<b>Derivados P&amp;C</b>	-2,09	-3,81	-4,12	-6,14	-3,00	-4,91
<b>Eletricidade</b>	0,67	-1,22	0,84	-1,98	0,44	-1,63
<b>Ind.Int.Energia</b>	-0,50	-0,74	-1,01	-1,43	-0,83	-1,13
<b>Out.Ind.e Serv.</b>	-0,35	-2,49	-0,77	-3,63	-0,67	-3,07
<b>CGDS</b>	0,50	-0,42	0,64	-1,50	0,43	-1,02

Fonte: Valores resultantes das simulações Alca2, Alca3 e Alca5.

### 3.3 Sumário dos resultados para o Brasil

#### *Impactos econômicos*

A Tabela 3.21 mostra os resultados de alguns indicadores macroeconômicos para os sete cenários selecionados.<sup>169</sup> A atividade econômica, que aqui é representada pela variável *qgdp* (índice de quantidade do PIB), apresentou seu melhor resultado na simulação do cenário Alca (0,17%). Nesse experimento, obteve-se também a única situação na qual o crescimento das importações (*qiwreg*) superou o das exportações (*qxwreg*), o que pode ter sido motivado pela melhora da atividade econômica. Estes resultados, de certa forma esperados, possivelmente foram consequência da modelagem do experimento, o qual não admitiu abatimento de emissões. Essa suposição é evidenciada pela redução da taxa de crescimento do PIB no resultado da simulação Alca1

<sup>169</sup> Estes sete cenários (Alca, Alca1, PQ1,..., PQ5) foram selecionados com o objetivo de proporcionar uma análise comparativa, tanto do efeito das restrições da emissão de CO<sub>2</sub> sobre os resultados no âmbito do acordo comercial da ALCA (Alca e Alca1) quanto dos efeitos isolados dessas restrições (PQ1,..., PQ5) sobre a economia brasileira.

para 0,10%, o que ocasionou uma inversão do comportamento dos índices de importação e exportação ( $qiwreg < qwwreg$ ).

A análise dos cenários exclusivos com os choques de redução de emissão revela que realmente a queda na atividade econômica observada no experimento Alca1 aconteceu devido à restrição de emissões. O experimento PQ4, que teve a maior incidência de choques reduzindo emissões e, dessa forma, impôs maior ônus de internalização, registrou a maior queda da atividade econômica (-0,04%). Portanto, o Brasil, quando participa do comércio de emissões, sofre diretamente os efeitos do abatimento na atividade econômica, como pode ser observado através dos índices de crescimento do PIB, inflação ( $pgdp$ ) e comércio externo.

**Tabela 3.21 – Impactos macroeconômicos (variação %)**

Cenários	qgdp	pgdp	qiwreg	qxwreg
Alca	0,17	0,87	10,39	9,89
Alca1	0,10	0,85	8,64	12,10
PQ1	-0,02	0,64	-0,22	-0,57
PQ2	0,01	0,23	0,03	0,12
PQ3	0,02	0,59	0,24	0,40
PQ4	-0,04	1,05	-0,30	-1,01
PQ5	0,01	0,29	0,14	0,21

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

O bem-estar gerado pelas simulações, representado pela EV, foi decomposto em seus componentes e está sendo apresentado na Tabela 3.22. Todos os cenários geraram melhoria no bem-estar econômico. A exemplo do que aconteceu na análise da Tabela 3.19, a simulação Alca também foi a que obteve o melhor resultado, seguida pela simulação Alca1. Novamente, deve-se atribuir esse melhor resultado do experimento Alca em comparação com Alca1 à ausência de abatimento de emissões nos choques implementados no modelo. O primeiro cenário simulado (Alca) obteve melhor ganho alocativo (alloc), menor perda nos termos de troca (tot), e maior saldo no componente

poupança líquida (IS), enquanto que o fluxo relacionado ao comércio de emissões em Alca1 foi insuficiente para compensar essas perdas.

Na comparação de Alca1 com PQ1, observa-se uma inversão nos sinais dos saldos dos ganhos alocativos e dos termos de troca.<sup>170</sup> Ou seja, a participação brasileira em sistema de comércio de emissões produziria perda de eficiência alocativa e ganhos nos termos de troca. Curiosamente, o experimento PQ4, pior desempenho pelo índice de quantidade do PIB na Tabela 3.21, foi o que mostrou o melhor resultado em termos de bem-estar dentre os experimentos que permitem o abatimento de emissões (US\$ 265 milhões). Tal acontecimento pode ser explicado basicamente pelo fluxo positivo correspondente à venda de permissão de emissões para os outros países (co2trd), uma vez que os outros componentes praticamente se anularam.<sup>171</sup>

**Tabela 3.22 – Decomposição do bem-estar no Brasil por cenários –  
US\$ milhões**

Cenários	co2trd	alloc	Tot	IS	Total (EV)
Alca	0	1315,40	-25,69	139,92	1429,63
Alca1	65,24	765,36	-209,32	56,51	677,80
PQ1	86,84	-155,89	146,33	45,44	122,71
PQ2	0,00	41,34	1,40	1,31	44,04
PQ3	0,00	123,46	63,14	20,99	207,58
PQ4	230,30	-284,37	243,26	75,99	265,17
PQ5	0,00	67,69	38,75	8,67	115,11

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

Comparando-se os efeitos na eficiência alocativa no Brasil por setor nos vários experimentos, podem-se observar alguns padrões qualitativos (Tabela 3.23). Os setores de gás natural e eletricidade apresentaram perdas de eficiência, independentemente do cenário simulado. Desses setores, o de eletricidade foi o que obteve o pior desempenho,

<sup>170</sup> Não pode-se esperar que a soma dos resultados do cenários Alca e PQ1 resulte no resultados do cenário Alca1 porque os dois primeiros possuem *closures* diferentes.

<sup>171</sup> Esse resultado pode ser entendido como uma evidência do potencial brasileiro para emissor de certificados de reduções comerciáveis (CERs) e dos benefícios que podem ser obtidos dessa situação.

chegando a registrar uma perda de US\$ 14 milhões no experimento PQ4. Nos experimentos PQ1 e PQ4, o saldo total negativo pode ser quase totalmente creditado à perda de eficiência alocativa no setor de derivados de petróleo e carvão (US\$ 152 milhões e US\$ 249 milhões, respectivamente).

Ainda sobre os experimentos PQ1 e PQ4, observa-se que os ganhos provenientes da melhor alocação dos recursos obtidos pelo setor de outras indústrias e serviços, não foi suficiente para compensar a perda nos setores de energia. A explicação para esse fenômeno reside na incidência do imposto de US\$ 22 e US\$ 38 por tonelada de carbono, respectivamente para PQ1 e PQ4 (Tabela 3.16). O imposto sobre carbono tem efeito similar e contrário ao efeito que teria a eliminação de uma tarifa de importação sobre a eficiência alocativa. Enquanto a remoção de uma tarifa de importação sobre determinado insumo torna-o mais barato para utilização por determinada indústria, o imposto sobre carbono torna-o mais caro e, portanto, desloca a demanda pelo mesmo para outras regiões.

**Tabela 3.23 - Efeitos alocativos por setor e cenários no Brasil - US\$ milhões**

Setores	Alca	Alca1	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	PQ5
Agropecuário	18,68	15,89	0,58	0,08	-1,23	1,40	-0,92
Carvão	0,44	-5,61	-5,87	0,47	1,41	-8,74	0,75
Petróleo cru	1,20	-3,28	-2,15	5,35	18,78	-3,14	9,59
Gás natural	-0,02	-1,11	-1,10	-0,02	-0,05	-2,21	-0,03
Derivados P&C	110,46	-69,71	-152,06	24,59	98,18	-248,98	52,57
Eletricidade	-1,36	-11,57	-10,12	-6,15	-12,42	-14,36	-6,45
Ind.Int.Energia	83,50	74,88	-2,12	2,54	-2,19	-3,48	-1,97
Out.Ind.e Serv.	1102,51	796,94	57,96	14,48	20,99	102,04	14,16
Total	1315,40	796,42	-114,88	41,34	123,46	-177,48	67,69

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

A análise da decomposição dos termos de troca (tot) por setor revela alguns resultados bem interessantes (Tabela 3.24). Um resultado particularmente curioso deve-se a piora no total dos termos de troca do experimento Alca para o Alca1 (perda de US\$ 26 milhões para US\$ 210 milhões). Em uma análise preliminar, poder-se-ia atribuir esse fato

à característica restritiva do experimento ao incorporar o abatimento de emissões. Entretanto, o que se segue, ao se observarem os experimentos subseqüentes, é exatamente o contrário. Os experimentos exclusivamente com choques de redução de emissões (PQ1,..., PQ5) forneceram para o Brasil ganhos nos termos de intercâmbio, particularmente nos experimentos em que a incidência do imposto sobre emissão de carbono atuou diretamente (experimentos PQ1 e PQ4). Esse fato pode ser explicado exatamente pelo mesmo fenômeno que levou à perda de eficiência alocativa da Tabela 3.23, ou seja, o imposto s/carbono melhora os termos de troca.

Quando se analisa pelo ângulo dos setores, observa-se também que ocorreram mudanças importantes nos sinais dos resultados e no montante dos fluxos associados a esta variável, quando é permitido o abatimento de emissões nos experimentos. No setor agropecuário, por exemplo, ocorreu a troca de uma situação de uma perda nos termos de troca no valor de US\$ 214 milhões na simulação Alca para ganhos em todos os outros experimentos. Da mesma forma, só que no sentido inverso, os setores produtores de eletricidade e as indústrias intensivas em energia passam a ter uma deterioração dos seus termos de trocas (exceto nos PQ1 e PQ4).

**Tabela 3.24 - Efeito nos termos de troca por setor e cenários no Brasil –**

US\$ milhões

Setores	Alca	Alca1	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	PQ5
Agropecuário	-214,07	90,34	5,72	0,62	12,33	9,19	7,43
Carvão	1,96	11,96	10,40	1,21	18,13	15,88	10,01
Petróleo cru	26,31	82,67	73,84	5,66	91,57	118,87	48,30
Gás natural	0	0,03	0,02	0,00	0,03	0,03	0,01
Derivados P&C	3,24	27,75	23,28	1,80	29,25	37,49	15,66
Eletricidade	21,34	-72,42	-52,64	-8,52	-56,04	-82,81	-28,17
Ind.Int.Energia	211,85	-191,41	15,57	-5,26	-69,89	28,47	-34,19
Out.Ind.e Serv.	-76,31	-158,53	70,38	5,89	37,86	116,56	19,76
Total	-25,67	-209,60	146,58	1,40	63,24	243,68	38,81

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

*Impactos ambientais*

As situações que geraram redução na taxa de crescimento de emissões no Brasil foram obtidas através das simulações Alca1, PQ1 e PQ4. Como mencionado anteriormente, esses experimentos foram desenhados para permitir a inserção de todos os países/regiões do modelo em um sistema de comércio de emissões no qual é permitido que os países do Anexo I compartilhem suas obrigações de abatimentos com os mesmos. O impacto deste mecanismo fez com o preço das *commodities* de energia aumentasse (exceto petróleo cru) no Brasil causando a redução da demanda das mesmas. Isso pode ser observado na Tabela 3.25 pelo aumento de preço, por exemplo, de 29,4% para o carvão na simulação Alca1, 29,6% na PQ1, e de 49,5% na PQ4. A maior redução da taxa de crescimento de CO<sub>2</sub> ocorrida nessa última deveu-se, principalmente, ao aumento da cota mundial de abatimento pela inserção de OGEMISS no compromisso de redução de emissão (15% em seus níveis de 1997).

Por outro lado, quando são registrados aumentos de emissão, não existe a participação brasileira no comércio de emissões. Esse fenômeno pode ser uma evidência da teoria do “escape de carbono” para o Brasil, uma vez que, quando acontece o abatimento em experimentos com essa característica (PQ2, PQ3 e PQ5), obtêm-se maiores emissões no mesmo. Verifica-se também que o pico de crescimento de emissões acontece exatamente na simulação que supõe inexistência do mecanismo de flexibilidade. Dos experimentos que causaram aumento do crescimento das emissões, o que registrou a maior taxa foi o que não admitiu nenhuma forma de comércio de emissões (PQ3 na Tabela 3.25). Nesse experimento obteve-se a maior redução de preço para as *commodities* energia (- 3% para carvão e petróleo cru e -2,4% para derivados de petróleo e carvão). Este resultado pode sugerir que, em um comprometimento de redução de emissão de gases do efeito estufa, no qual os países buscam soluções isoladas, o comportamento *free rider* pode ser mais pronunciado para aqueles países não comprometidos. Ou seja, os países que não estão obrigados a reduzir sua emissões podem se aproveitar da queda do preço dos *commodities* de energia no mercado internacional, ocasionado pela restrição imposta ao países do Anexo I, para aumentarem sua produção que é intensiva nessas *commodities*.

**Tabela 3.25 – Preço, quantidade demandada, e emissões por commodity no Brasil (variação %)**

Produtos		Total	Carvão	Petróleo cru	Gás natural	Derivados P&C	Eletri- cidade
Experimentos							
Alca	apen	1.62	-0,80	-2,37	-0,17	-2,18	0,02
	qdem		0,99	1,75	-0,11	1,78	-0,12
	gco2		0,83	2,12	-0,11	1,89	-0,11
Alcal	apen	-3.69	29,45	-4,80	4,61	2,17	1,62
	qdem		-14,17	-1,29	-5,08	-1,31	0,01
	gco2		-14,34	-7,62	-5,10	-1,32	-0,01
PQ1	apen	-4.93	29,57	-3,00	4,52	3,87	1,48
	qdem		-14,77	-2,67	-5,03	-2,66	0,07
	gco2		-14,88	-9,18	-5,05	-2,78	0,06
PQ2	apen	0.59	-0,78	-0,75	0,11	-0,59	0,30
	qdem		1,08	0,51	0,06	0,49	-0,16
	gco2		0,94	0,84	0,06	0,54	-0,25
PQ3	apen	2.04	-3,01	-3,07	0,05	-2,39	0,41
	qdem		3,18	1,92	0,05	1,85	-0,38
	gco2		2,65	3,17	0,07	2,03	-0,53
PQ4	apen	-7.81	49,52	-4,89	9,95	6,55	2,37
	qdem		-22,11	-4,39	-9,91	-4,38	0,18
	gco2		-22,26	-14,43	-9,95	-4,58	0,16
PQ5	apen	1.07	-1,67	-1,65	0,01	-1,29	0,19
	qdem		1,67	1,02	0,02	0,98	-0,20
	gco2		1,38	1,65	0,02	1,07	-0,28

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

Notas: apen (variação percentual o preço médio da energia); qdem (variação percentual na quantidade demandada do volume das *commodities* energia); gco2 (variação percentual das emissões por *commodity* energia).

### 3.4 Análise de sensibilidade

Em simulações econômicas implementadas em modelos EGC, os resultados são fortemente influenciados pelas suposições que se fazem para alguns parâmetros e choques em variáveis exógenas. Assim, fazer variar esses elementos para se verificar o quanto eles influenciam os resultados endógenos é uma tarefa indispensável para dar credibilidade às conclusões acerca dos resultados encontrados. Portanto, a análise de sensibilidade trata-se de um importante instrumento para verificar a robustez dos resultados encontrados pelos modelos EGC.<sup>172</sup>

Uma simples maneira de executar a análise de sensibilidade seria estabelecer, de forma arbitrária, diferentes conjuntos de parâmetros e proceder à resolução do modelo com esses parâmetros.<sup>173</sup> Entretanto, este procedimento pode se tornar operacionalmente inviável quando se quer analisar muitos setores e muitas regiões, devido ao número elevado de simulações que se teria de fazer. Uma forma alternativa, proposta inicialmente por Wigle (1991), é a análise de sensibilidade sistemática. Nessa, o modelo é resolvido várias vezes para os diferentes valores dos parâmetros ou choques (dentro de um intervalo preestabelecido), e a distribuição dos valores obtidos para cada variável endógena é sumarizada através da sua média e desvio padrão.

O artifício usado no GTAP utiliza uma metodologia que reduz sensivelmente o número de simulações necessárias para desempenhar tal análise.<sup>174</sup> Em suma, esse procedimento consiste em, após uma simulação, selecionar o(s) parâmetro(s) ou choques para variar dentro de uma distribuição que pode ser simétrica triangular ou uniforme.<sup>175</sup> O *software* então operacionaliza uma aproximação discreta para esta distribuição através

---

<sup>172</sup> De acordo com Domingues (2002), a literatura sobre modelos EGC vem dando atenção crescente para a estrutura numérica dos mesmos.

<sup>173</sup> Esse procedimento é conhecido na literatura como *ad hoc* para contrastar com a análise de sensibilidade sistemática.

<sup>174</sup> Arndt (1996) e Arndt e Hertel (1997).

<sup>175</sup> Em uma distribuição de probabilidade simétrica uniforme, todos os valores têm igual chance de acontecer entre dois pontos fixos acima e abaixo da média. Já na triangular, os valores mais próximos dos extremos (mínimo e máximo) têm probabilidade menor do que os demais.

de uma quadratura gaussiana resolvendo o modelo para cada ponto nesta distribuição.<sup>176</sup> Os resultados são ponderados adequadamente de forma a produzir as médias e os desvios padrões para as diferentes variáveis endógenas da simulação original.

### *Análise de sensibilidade para o Brasil*

Nesta seção foram selecionados dois cenários para que se possa proceder com esse exercício: Alca1 e PQ3.<sup>177</sup> O critério adotado para escolha desses experimentos deve-se ao fato de se considerar os mesmos como representativos de situações bem distintas no que se refere ao Protocolo de Quioto e a conseqüente internalização das externalidades causadas pelas emissões de CO<sub>2</sub>. O primeiro experimento (Alca1) permite que todos os países/regiões do modelo comercializem emissões entre si. Este mecanismo possibilita que, além dos países participantes do Anexo I, todos os outros promovam o abatimento de emissões através da internalização de um imposto sobre emissão de carbono. Por outro lado, no segundo (PQ3), o abatimento de emissões e o conseqüente ônus do imposto ficam restritos somente aos países do Anexo I, uma vez que não há comércio de emissões neste experimento.

As Tabelas 3.26 e 3.27 mostram os resultados deste exercício para uma variação de 50% (acima e abaixo do valor-base) com distribuição triangular simétrica e quadratura gaussiana de Stroud (1957) nos valores dos parâmetros e choques especificados.<sup>178</sup> Os intervalos nos colchetes foram calculados com base na desigualdade de *Chebyshev* com três desvios-padrão da média, fornecendo um intervalo de confiança de 88,89%.<sup>179</sup>

---

<sup>176</sup> Uma Quadratura Gaussiana é uma distribuição discreta na qual os primeiros momentos (média e variância) são os mesmos que na distribuição contínua correspondente. O *software* RunGTAP disponibiliza duas quadraturas para a análise de sensibilidade: Stroud (1957) e Liu (1997).

<sup>177</sup> Optou-se por somente dois experimentos porque este exercício trata-se de um processo extremamente demorado do ponto de vista computacional para modelos globais como o GTAP.

<sup>178</sup> Este valor de 50% foi estabelecido arbitrariamente, mas acredita-se que esta amplitude não é ultrapassada em muito pelos valores estimados na literatura pertinente.

<sup>179</sup> A desigualdade de *Chebyshev* afirma que, dado uma variável endógena  $Y$ , com média  $M$ , e desvio-padrão  $D$ , não importa a distribuição da variável em questão, para cada número real positivo  $k$ , a probabilidade que o valor de  $Y$  não ficar no intervalo de  $k$  desvios-padrão da média  $M$ , não é mais do que  $1/k^2$  (Hogg e Craig, 1970).

Nenhuma das situações analisadas traz mudança de sinal para os extremos dos intervalos obtidos, o que permite confirmar a robustez qualitativa do modelo utilizado. Entretanto, podem-se fazer algumas observações quanto à amplitude do intervalo, uma vez que sua magnitude indica que o quão sensível são algumas variáveis endógenas às suposições exógenas.

Entre os parâmetros, foram selecionados para a análise de sensibilidade aqueles destacados no Capítulo 2 (Figura 2.3) como os responsáveis pela substituição de energia entre os setores produtivos do modelo e as elasticidades de substituição de *Armington*. Os primeiros são as elasticidades de substituição entre capital e energia (ELKE), carvão e não-carvão (ELCO), eletricidade e não-eletricidade (ELELY), e entre os combustíveis fósseis remanescentes (ELFU). Estes parâmetros calibram um conjunto de equações da estrutura de produção dos setores do GTAP-E que permite a substituição de energia entre seus usos alternativos. Foi considerada neste exercício uma variação conjunta nestes parâmetros para todas as regiões e setores, uma vez que os resultados da análise de sensibilidade individual para as elasticidades de substituição de energia mostraram resultados insignificantes em termos qualitativos (desvio-padrão muito pequeno para todas as variáveis).<sup>180</sup> Os resultados apontaram que as variáveis PIB, exportação, importação e termos de troca, foram pouco influenciadas pela inserção dessa estrutura de substituição no modelo. Isso pode ser observado pela baixa amplitude dos intervalos para essas variáveis nas Tabelas 3.26 e 3.27. Entretanto, a inclusão desta estrutura no modelo é justificada quando se observa que a mudança na magnitude dos parâmetros causa variações significativas na emissão de CO<sub>2</sub> em ambas as simulações.

A escolha da estrutura de *Armington* para a análise de sensibilidade deve-se a sua importância para avaliar os impactos de alterações da política comercial. Governada por funções CES (*Constant Elasticity Substitution*), nessa estrutura é suposto que os produtos são diferenciados segundo o país de origem, e que a demanda interna de cada setor é atendida por um bem composto formado entre bens domésticos e importados.<sup>181</sup> A

---

<sup>180</sup> A estrutura de substituição de energia neste modelo foi calibrada com base em várias estruturas de substituição intercombustíveis e substituição fator-combustível, como em Burniaux et al. (1992), Babiker et al. (1997), Rutherford et al. (1997) e Bohringer e Pahlke (1997).

<sup>181</sup> Os parâmetros ESUBM e ESUBD são usados no modelo para denotar as elasticidades de substituição entre os bens importados e entre importados e domésticos, respectivamente.

incerteza acerca dos valores apropriados para calibrar estas funções justifica este procedimento, uma vez que a magnitude desses valores pode trazer significativas mudanças nos resultados das simulações do modelo, especialmente nos fluxos comerciais.<sup>182</sup> Esta premissa é corroborada pela observação das elevadas amplitudes de variação do PIB e das variáveis de exportação e importação. Entretanto, a variação desses parâmetros provocou amplitudes bem mais discretas para termos de troca e emissão de CO<sub>2</sub> (Tabelas 3.26 e 3.27).

Desenvolveu-se também a análise de sensibilidade nos choques de redução de CO<sub>2</sub>. O motivo para a escolha deste choque específico reside principalmente na incerteza quanto a verdadeira redução que teria de ser imposta aos países do Anexo I, para que as emissões de CO<sub>2</sub> realmente voltassem 5% abaixo dos níveis de 1990. Como explicado na descrição do Experimento Alca1, existiu um *gap* entre o valor acordado no Protocolo de Quioto e o que deveria realmente ser exigido para envolver as emissões do período de 1990 até 1995. A influência destes choques nos resultados das simulações foi mais pronunciada nas emissões de CO<sub>2</sub>, especialmente no experimento Alca1, em que quase houve troca de sinal. Nesse cenário, a variação dos choques afetou também, mas modestamente, o PIB e os termos de troca.

**Tabela 3.26 – Análise de sensibilidade para o Brasil – Cenário Alca1 (variação %)**

	<b>Elasticidades de Armington*</b>	<b>Substituição de Energia</b>	<b>Choque CO<sub>2</sub></b>
PIB	[0,188 ; 0,011]	[0,105 ; 0,091]	[0,116 ; 0,079]
Exportação	[21,415 ; 3,036]	[12,206 ; 11,984]	[12,609 ; 11,556]
Importação	[15,420 ; 2,044]	[8,691 ; 8,586]	[8,800 ; 8,476]
Termos de troca	[-0,259 ; -0,312]	[-0,226 ; -0,341]	[-0,099 ; -0,465]
Emissão CO <sub>2</sub>	[-3,182 ; -4,200]	[-2,691 ; -4,711]	[-0,059 ; -7,406]

Fonte: Valores resultantes da análise de sensibilidade da simulação Alca1.

\* ESUBM e ESUBD foram selecionadas para variar conjuntamente através de uma razão constante.

<sup>182</sup> Tourinho, Kume e Pedroso (2003) estimaram elasticidades de Armington para o Brasil referente ao período 1986-2002. Entretanto, a agregação diferente dos setores utilizada por estes autores inviabiliza seu emprego neste trabalho.

Finalmente, deve-se destacar que, apesar de as duas simulações selecionadas para este exercício serem bem distintas no que se refere à natureza das suposições dos experimentos, os resultados da análise de sensibilidade não variam significativamente de uma para outra (não houve troca de sinal na amplitude de intervalo). Com exceção para as emissões de CO<sub>2</sub> e termos de troca, cujos sinais mudaram, mas em função da existência do comércio de emissões na simulação Alca1. Destaca-se também que o pequeno impacto da variação das elasticidades de *Armington* no cenário PQ3, devido ao fato que esta simulação não contempla redução de tarifas sobre o comércio.

**Tabela 3.27 - Análise de sensibilidade para o Brasil – Cenário PQ3 (variação %)**

	Elasticidades de <i>Armington</i>	Substituição de Energia	Choque CO2
PIB	[0,023 ; 0,008]	[0,017 ; 0,015]	[0,023 ; 0,009]
Exportação	[0,401 ; 0,399]	[0,474 ; 0,319]	[0,595 ; 0,212]
Importação	[0,297 ; 0,183]	[0,287 ; 0,195]	[0,398 ; 0,096]
Termos de troca	[0,191 ; 0,014]	[0,123 ; 0,094]	[0,187 ; 0,036]
Emissão CO2	[2,189 ; 1,886]	[2,691 ; 1,388]	[2,985 ; 1,143]

Fonte: Valores resultantes da análise de sensibilidade da simulação PQ3.

### *Análise de sensibilidade para o escape de carbono*

Esta seção destina-se a testar as suposições levantadas no Capítulo 1 acerca dos mecanismos-chave que guiam a dinâmica do escape de carbono, através da análise de sensibilidade nos resultados da simulação Alca5.<sup>183</sup> A taxa de escape de carbono é influenciada pelas proposições que se fazem sobre as possibilidades de produção e relações comportamentais que, em última instância, recaem sobre as elasticidades-preço

<sup>183</sup> Foi selecionado o experimento Alca5, porque as suposições desse a respeito da participação dos países no abatimento de emissões são similares a outros trabalhos que tratam esta questão.

do modelo.<sup>184</sup> Por sua vez, a magnitude destas elasticidades depende das possibilidades de substituição entre todos os diferentes insumos utilizados na produção. Dois canais são destacados pela literatura como propagadores do escape de carbono: os mercados de não-energia e de energia.

Nos mercados de não-energia, o escape opera através da alteração dos fluxos comerciais como resultado da perda de competitividade ocasionada pelo aumento nos custos de produção decorrentes do abatimento unilateral de carbono. As elasticidades de *Armington* (elasticidades de substituição no comércio internacional) representam a intensidade pela qual opera o canal não-energia para propagar o escape de carbono.<sup>185</sup> Esta suposição pode ser confirmada neste trabalho, pois, como pode ser verificado através da inspeção da Tabela 3.28, na região da ALCA como um todo, a magnitude do intervalo da taxa de escape variou aproximadamente 36%.<sup>186</sup> Este resultado corrobora os resultados encontrados por Bohringer et al. (2000) e Bollen et al.(2000), entretanto, discorda do resultado encontrado por Burniaux e Martins (2000), pois estes últimos encontraram que a taxa de escape permanece pequena mesmo na presença de um alto grau de substituição em mercados de não-energia.

Quanto ao canal relacionado ao mercado de energia, a literatura destaca a estrutura do mercado internacional de energia como fator decisivo para a magnitude da taxa de escape de carbono. Foram examinados dois conjuntos de elasticidades: o conjunto de parâmetros que permitem substituição entre as alternativas fontes de energia (ELKE, ELELY, ELFU e ELCO); e a elasticidade de substituição entre o carvão e demais *commodities* de energia de forma isolada.<sup>187</sup> Dos resultados encontrados, observa-se que essa última pouco influencia a taxa de escape de carbono (variação de apenas 4,6% na amplitude do intervalo). Isso significa que, neste modelo, a integração do mercado

---

<sup>184</sup> Quanto maior a elasticidade-preço da demanda por energia em países não participantes do Anexo I, maior será a taxa de escape de carbono e vice-versa para os participantes.

<sup>185</sup> O grau de mobilidade internacional do capital também é destacado como fator indutivo do escape de carbono no mercado não-energia. Foram realizadas várias simulações com valores alternativos para o parâmetro responsável por essa mobilidade, e não foi confirmada essa hipótese.

<sup>186</sup> Para a análise de sensibilidade de 50% a partir do valores-base, com distribuição triangular simétrica e quadratura de Strout.

<sup>187</sup> Ligth et al. (1999) ressaltam que a estrutura internacional do mercado de carvão é crítica para o entendimento dos mecanismos de escape de carbono.

internacional de carvão não explica o escape de carbono.<sup>188</sup> Por outro lado, a substituição de energia teve papel fundamental para explicar esse fenômeno. A variação de 50% a partir dos valores básicos desses parâmetros fez variar a amplitude do intervalo da taxa de escape em 46%.

**Tabela 3.28 – Análise de sensibilidade da taxa de escape de carbono na ALCA – Cenário Alca5 (variação %)**

	<b>Armington</b>	<b>Subst. Carvão</b>	<b>Subst. Energia</b>	<b>Subst. Valor-Adicionado</b>
Brasil	[0,57 ; 0,40]	[0,49 ; 0,47]	[0,57 ; 0,39]	[0,52 ; 0,45]
México	[0,29 ; 0,22]	[0,27 ; 0,25]	[0,32 ; 0,19]	[0,28 ; 0,23]
RMERC	[0,00 ; 0,00]	[0,00 ; 0,00]	[0,00 ; 0,00]	[0,00 ; 0,00]
RALCA	[1,26 ; 0,73]	[1,01 ; 0,97]	[1,36 ; 0,63]	[1,05 ; 0,95]
Total	[2,11 ; 1,35]	[1,77 ; 1,69]	[2,26 ; 1,21]	[1,84 ; 1,63]

Fonte: Valores resultantes da análise de sensibilidade da simulação Alca5.

Foi executado ainda um exercício para avaliar um possível efeito da variação das possibilidades de substituição na função de produção sobre a taxa de escape de carbono, como sugerem Bollen et al. (1999). Através da variação do parâmetro que estabelece a substituição no “ninho” valor-adicionado-energia (ESUBVAMOD), constata-se que este fator pouco influenciou na taxa de escape na ALCA (última coluna da Tabela 3.28).<sup>189</sup>

<sup>188</sup> Este resultado deve ser entendido com cuidado, uma vez que não foi considerada neste trabalho a multidimensionalidade dos parâmetros na análise de sensibilidade (Burniaux e Martins, 2000).

<sup>189</sup> Figuras 2.2 e 2.3 no Capítulo 2.

### 3.5 Considerações finais

Neste capítulo foram analisados os resultados das simulações dos cenários propostos para o presente estudo. Inicialmente foram simulados dois cenários: o primeiro, com a suposição de remoção completa das tarifas de importação e exportação entre os membros da ALCA, mostrou que a desgravação tarifária traria melhoria do bem-estar econômico basicamente para todas as regiões envolvidas nesse acordo de comércio, embora, com aumento das emissões de CO<sub>2</sub>; o segundo, incorporando choques exógenos de redução de emissões, diminuiria consideravelmente os efeitos nocivos do comércio sobre o meio ambiente, mas com significativa redução no bem-estar alcançado no primeiro cenário. Ou seja, neste trabalho, com esse modelo, foi encontrado um *trade-off* entre as políticas de promoção do livre-comércio (representadas pela formação da ALCA) e as de preservação do meio ambiente (representadas pelo Protocolo de Quioto). Esse resultado sugere que um determinado país que adotasse um comportamento *free rider* na hipótese de consolidação da ALCA, não participando do comprometimento de redução de emissões, seria beneficiado em relação aos demais países que adotassem outra postura.

Com o intuito de observar os impactos da política ambiental livre da interferência da política de comércio, também foram simulados cenários exclusivos com alternativas de implementação do Protocolo de Quioto. Os resultados obtidos corroboraram a hipótese que a política ambiental de redução de emissões, apesar de contribuir para a diminuição de CO<sub>2</sub> na atmosfera, de forma geral, afeta negativamente o bem-estar econômico dos países que abatem emissões, principalmente através do encarecimento das *commodities* de energia e a conseqüente redução do seu uso. Esse efeito é mais pronunciado em países cuja matriz energética é mais intensiva em carvão e petróleo. Para o Brasil, os resultados mostraram que a melhor estratégia para participar do processo de redução de emissões seria a de o país estar inserido diretamente no mecanismo de comércio de emissões. Essa situação traria ganhos de bem-estar econômico avaliados pela variação equivalente da renda (EV) superiores em comparação às alternativas em que o mesmo não participa de tal mecanismo.

## CONCLUSÃO

A utilização de modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) para tratar de assuntos relacionados ao meio ambiente remonta ao início da década de 1990. Desde então, diversos pesquisadores têm analisado a relação entre comércio e meio ambiente sob a luz desse instrumento. O foco da análise empírica desse tema geralmente recai ou sobre os impactos ambientais decorrentes do aumento da atividade econômica, ou sobre os impactos econômicos advindos das políticas de preservação ambiental. No Brasil, o uso de modelos de EGC para tratar esse tema é ainda bastante incipiente, e segue a tendência de análise dual comentada acima, ou seja, se analisam separadamente os efeitos das políticas ambientais e de comércio sobre, respectivamente, o comércio e o meio ambiente.

O objetivo deste trabalho foi colaborar para a literatura aplicada de EGC ao tema “Comércio e Meio Ambiente” no Brasil, de forma a contribuir para o preenchimento de uma lacuna muito grande ainda existente. Dessa forma, utilizou-se o modelo GTAP-E (energia) de Burniaux e Truong (2002) para avaliar, simultaneamente, os impactos ambientais e econômicos, respectivamente, das políticas comerciais e ambientais. O GTAP-E é uma versão modificada do modelo GTAP padrão (Hertel, 1997), que permite a substituição entre fontes alternativas de energia, comércio e emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de combustíveis fósseis. O foco dos experimentos recaiu sobre a análise *ex ante* de dois eventos que devem ocorrer nesta década, e que têm ocupado grande espaço na agenda de negociações externas do Brasil e grande número de países no mundo: a formação da Área de Livre-Comércio das Américas (ALCA) e a implementação do Protocolo de Quioto.

Os principais resultados apontaram que a formação da ALCA traria benefícios econômicos para a maioria dos países envolvidos nesse processo (conforme mostrado no cenário Alca). No Brasil, esses ganhos viriam principalmente da melhor alocação dos recursos produtivos nos setores denominados “outras indústrias e serviços” (setor mais protegido antes da simulação) e “derivados de petróleo e carvão”. No setor externo, as exportações seriam impulsionadas basicamente pelo aumento da venda de produtos

derivados de petróleo e carvão, e de produtos originados no setor de outras indústrias e serviços. Quanto às importações, seria verificado um significativo aumento da compra de petróleo com origem nos EUA e RALCA (Resto da ALCA). A atividade econômica (PIB) seria afetada positivamente, sendo os setores de derivados de petróleo e agropecuário os maiores responsáveis por tal desempenho. O aumento da emissão de CO<sub>2</sub> seria gerado basicamente nos setores de produção de petróleo e seus derivados.

A despeito da redução de emissão de CO<sub>2</sub>, a inserção do abatimento de emissões no cenário que simula a efetivação da ALCA simultaneamente ao Protocolo de Quioto produziria resultados significativamente piores do ponto de vista econômico. Essa evidência, produzida pelo experimento Alca1, foi corroborada posteriormente pelos experimentos que só levaram em conta o abatimento de emissões. Nesses últimos, obtiveram-se dois resultados de certa forma esperados: a) dentre aquelas regiões que abatem emissões de CO<sub>2</sub> diretamente através dos choques exógenos (Anexo I), o melhor arranjo seria a existência do mecanismo de flexibilidade “comércio de emissões”, para diluir os custos de abatimento entre todas as regiões do modelo; b) a produção (PIB) cai, inequivocamente, para todas as regiões que promovem o abatimento de emissões, seja diretamente através dos choques, seja indiretamente via comércio de emissões. Do ponto de vista do bem-estar econômico, que foi avaliado pela variação equivalente da renda (EV), embora os resultados apresentem exceções (Brasil e ROW), de uma forma geral, obteve-se uma piora considerável nesse aspecto.

Apesar de o Brasil ter sofrido queda da produção nos experimentos cujo abatimento foi internalizado através do imposto sobre a emissão de carbono, o mesmo foi o único país que obteve melhora no bem-estar econômico em todos os experimentos, inclusive naqueles que simulam o abatimento de emissões indiretamente através da participação no comércio de emissões. Isso aconteceu devido à melhoria dos termos de intercâmbio que, juntamente com o saldo da poupança líquida (IS) e o fluxo proveniente da venda de permissões de emissões, compensou a perda da eficiência alocativa. A perda de bem-estar através dessa eficiência alocativa ocorreu basicamente nos setores produtores de carvão e derivados de petróleo, cujos preços aumentaram razoavelmente. Os ganhos de termos de troca foram obtidos no setor agropecuário e nos outros setores produtores de *commodities* de energia.

A implementação dos cenários que simulam simultaneamente a ALCA e o Protocolo de Quioto geraram o que se convencionou chamar de “escape de carbono” em algumas regiões desse bloco. Esse fenômeno aconteceria com maior intensidade nas situações em que inexistia qualquer instrumento que faça com que os países não pertencentes ao Anexo I se comprometam em reduzir emissões. Essa situação geraria dentro da ALCA o chamado comportamento *free rider*. Além disso, a não-participação americana nesse processo sugere que esse efeito seria potencializado nas outras regiões do bloco.

A análise de sensibilidade não gerou mudança de sinal nas variáveis endógenas selecionadas. Esse resultado sugere que o modelo é robusto à escolha dos parâmetros, ou seja, não é afetado qualitativamente por suposições nas magnitudes dos mesmos. Entretanto, deve-se assinalar que, para o Brasil, tanto os fluxos comerciais quanto o PIB mostraram-se bastante sensíveis à estrutura de *Armington*. O mesmo aconteceu com as emissões de CO<sub>2</sub>, relativamente à estrutura de substituição de energia e aos choques de redução de emissões. Esses resultados sugerem que é preciso cautela para se fazer inferências a respeito desses efeitos, uma vez que suas magnitudes estão diretamente vinculadas às dos parâmetros utilizados para calibrar as funções correspondentes. As estruturas de substituição de *Armington* e energia demonstraram também afetar o escape de carbono. Isso significa que, neste modelo, a integração dos mercados de energia e não-energia tem algum poder explicativo sobre o mesmo.

Enfim, a incorporação de abatimentos de emissões simultaneamente à eliminação de barreiras tarifárias entre os países integrantes de um bloco comercial reduziria os benefícios econômicos que essa última traria. No contexto inevitável que se configura atualmente da implantação do Tratado de Quioto, a melhor alternativa de implementação da ALCA, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, seria que essa se desse num contexto de comprometimento de todos os países do mundo (principalmente dos EUA). No Brasil, a possibilidade de participação do comércio de emissões, além de gerar bem-estar econômico, produziria desde já a redução das emissões de CO<sub>2</sub> consideradas por este trabalho. Portanto, é preciso que, no âmbito de negociações da ALCA, se tenha claramente a idéia que a execução de um acordo de proporção global, como o Tratado de Quioto, não deveria ser tratado de forma isolada dos acordos de formação de blocos

comerciais. A não observância dessa advertência pode aumentar os conflitos, já numerosos, existentes no processo de negociações para a formação da ALCA.

Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se condicioná-las ao aperfeiçoamento e à transposição das limitações do modelo utilizado. Ou seja, modelos de EGC são uma simplificação da realidade, que, muitas vezes, ignoram certos aspectos muito importantes para determinadas análises. Neste trabalho, que teve como um dos objetivos a avaliação de impactos ambientais (mais especificamente do efeito estufa) decorrentes da atividade produtiva gerada por acordos comerciais, é muito importante levar em consideração a emissão dos outros gases que provocam tal fenômeno. Ainda, o modelo deveria considerar também outras atividades econômicas geradoras de gases do efeito estufa, além das industriais, como, por exemplo, o uso da terra.

A incorporação de hipóteses alternativas como concorrência imperfeita e rendimentos de escala seria um importante aspecto a ser considerado. Como comentado no interior do trabalho, a utilização da premissa de concorrência perfeita e rendimentos constantes de escala tende a subestimar os efeitos das políticas comerciais sobre a atividade econômica. Entretanto, para tal, é preciso que se tenha boas estimativas de margens de *mark-up* e extensão das economias de escala.

Finalmente, é preciso que se tenha em mente a limitação do conceito de bem-estar utilizado ao longo deste trabalho. O uso desse termo refere-se somente à variação dos excedentes do consumidor e produtor e não leva em conta o bem-estar que seria proporcionado pela redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Considerar a utilização de tecnologias mais limpas de produção como promotora de bem-estar seria outro aspecto fundamental a ser inserido no modelo.

## BIBLIOGRAFIA

- ABARE (Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics). **The MEGABARE model**: interim documentation, February, 1996.
- ALLEN, C; GASIOREK, M; SMITH, A. Trade creation and trade diversion: Competitiveness impacts of the single market programme. **Brighton School of European Studies, University of Sussex**, 1996.
- ANDERSON, J. E. E BLACKHUSRT, B. (Eds.). **The Greening of World Trade Issues**. Harvester Wheat sheaf, Hertfordshire, 1992.
- ANTWEILER, W.; COPELAND, B. e TAYLOR, S. Is Free Trade Good for the Environment? **NBER Working Paper n. 6707**. 1998.
- ANDERSON, K. The Standart Welfare Economics of Policies Affecting Trade and the Environment. In: **Anderson and Blackhusrt** (eds.), 1992a.
- ARDNT, C. An Introduction to Systematic Sensitivity Analysis via Gaussian Quadrature. **GTAP Technical Paper No. 2**, Center for Global Trade and Analysis, Purdue University, 1996. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso em: Set/2004.
- ARNDT, C. and HERTEL, T.W. Revisiting The Fallacy of Free Trade. **Review of International Economics**, v.5, Issue 2, 1997.
- ARROW, K.J.; CHENERY, H.B.; MINHAS, B.S. and SOLOW, R.M. Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency. **Review of Economics and Statistics**. v. 53, p. 225-251, august, 1961.
- AUDLEY, J. J. **Green Politics and Global Trade**. Washington, D. C.: *Georgetown University Press*, 1997.
- AYRES, R.; KNEESE, A. Production, Consumption, and Externalities. **American Economic Review**, v.59, n.3, p. 282-97, 1969.
- AZEVEDO, A. **The Economic Effects of Mercosur: An Empirical Analysis**. 2001. Tese (Doutorado) - University of Sussex, Brighton.
- AZEVEDO, A. Análise Empírica do Impacto Econômico da ALCA e da Consolidação do Mercosul sobre o Brasil. **Programa de Pós-Graduação em Economia da UFRGS**, 2003. (Texto para discussão, nº. 12)
- BABIKER, M. MASKUS, K.; RUTHERFORD, T. Carbon Taxes and the Global Trading System. **University of Colorado, Working Paper n.97-7**, Boulder, 1997.

- BARKER, T. S. Foreign trade in multisectoral models. In: *Brody, A. e A. P. Carter (eds.), Input-Output Techniques*, Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1972.
- BARRETT, S. The Strategy of Trade Sanctions in International Environmental Agreements. **Resource and Energy Economics**, v.19, n.4, p. 345-61, 1997.
- BARRETT, S. Self-Enforcing International Environmental Agreements. **Oxford Economic Paper**, v. 46, p. 878-94, 1994.
- BARRETT, S. Strategic Environmental Policy and International Trade. **Journal of Public Economics**, v. 54, n.3, p. 325-338, 1994b
- BAUMOL, W. J. and BRADFORD, D. F. Detrimental Externalities and Non-convexity of the Production Set. **Econometrica**, v. 39, p. 160-76, 1972.
- BHAGWATI, J. The case for Free Trade. **Scientific American**, v. 269, p.42-49, 1993a.
- BHAGWATI, J. Trade and the Environment: The False Conflict? In: Zaelke, D. P. Orbuch and R. F. Housman (eds.), **Trade and the Environment: Law, Economics, and Policy**, Washington, DC: Island Press, 1993b.
- BOHRINGER, C.; RUTHERFORD, T. Decomposing the Costs of Kyoto: A Global CGE Analysis of Multilateral Policy Impacts, Paper presented at the **Tenth Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists**, Crete, 2000.
- BOHRINGER, C.; PAHLKE, A. Environmental Tax Reforms and the Prospects for a Double Dividend – An Intertemporal General Equilibrium Analysis for Germany. **Working Paper, University of Colorado**, Boulder, 1997.
- BOLLEN, J.; MANDERS, T. and TIMMER, H. Kyoto and carbon leakage: simulations with WorldScan, In: **IPCC Working Group III Expert Meeting**, May 27-28, The Hague, mimeo, 1999.
- BOLLEN, J.; MANDERS, T. and TIMMER, H. Decomposing Carbon Leakage, **Third Annual Conference on Global Economic Analysis**, June 27-30, Melbourne, 2000.
- BORGES, A.; GOULDER, L. Decomposing the impact of higher energy prices on long-term growth. In: SCARF, H.; SHOVEN, J. (Eds), **Applied General Equilibrium Analysis**, Cambridge University Press, 1984.
- BOTTEON, M.; CARRARO, C. Environmental coalitions with heterogeneous countries: burden-sharing and carbon leakages. *Nota di Lavoro* 24.98, March, 1998.

- BURNIAUX, J.M.; NICOLETTI, G.; OLIVEIRA MARTINS, J. GREEN: A Global Model for Quantifying the Costs of Policies to Curb CO<sub>2</sub> Emissions. **OECD Economic Studies No. 19**, Winter, p.49-92, 1992.
- BURNIAUX, J.M.; OLIVEIRA MARTINS, J. Carbon emission leakages: a general view. **OECD Economic Department, Working Paper No. 242**, may, 2000.
- BURNIAUX, J.M.; TRUONG, P.T. GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model. **GTAP Technical Paper No. 16**, Center for Global Trade and Analysis, Purdue University, 2002. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso : Dez/2003.
- BRAGA, A.S. e MIRANDA, L.C. (Orgs.) **Comércio e Meio Ambiente: Uma agenda positiva para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: MMA/SDS, 2002.
- BUCHNER, B. e ROSON R.. Conflicting Perspectives in Trade and Environmental Negotiations. **FEEM Working Papers**, n.68.2002, Milan, 2002.
- CARRARO, C. Beyond Kyoto: A game theoretic perspective. **Economic Modeling of Climate Change**, OECD Workshop Report, 17-18 September, 1998.
- CARRARO, C. E SINISCALCO, D. Strategies for the International Protection of the Environment. **Journal of Public Economics**, v. 52,p. 309-28, 1993.
- CARVALHO, A. e PARENTE, A. Impactos Comerciais da Área de Livre Comércio das Américas. Rio de Janeiro, **IPEA**, março., 1999. (Texto para Discussão, 635). Disponível em: [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br) Acesso: Set/2004.
- CHICHILNISKY, G. North-South Trade and the Globe Environment. **American Economic Review**, v. 84, p. 851-75, Sep., 1994.
- COHEN, B. C.; LABYS, W. C. e ELISTE, P. An Econometric Time-Series Analysis of Global CO<sub>2</sub> Concentrations and Emissions. **International Journal of Global Environmental Issues**, v.15, n.4, p. 371-85, 2001.
- COPELAND, B. R. e TAYLOR, M. S. North-South trade and the Environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 109, p 755-87, 1994.
- DALY, H. E. The Perils of Free Trade. **Scientific American**, v. 269, p. 50-57,1993a.
- DALY, H. E. Problems with Free Trade: Neoclassical and Steady-State Perspectives. In: Zaelke, D. P. Orbuch and R. F. Housman (eds.), **Trade and the Environment: Law, Economics, and Policy**, Washington, DC: Island Press, 1993b.
- DARWIN, R.; TSIGAS, M.; LEWANDROWSKI, J. E RANESES, A. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptation, **United States Department of Agriculture, Economic Research Service Report**, 1995.

- DESSUS, S. e BUSSOLO, M. Is There a Trade-off between Trade Liberalization and Pollution Abatement? A Computable General Equilibrium Assessment Applied to Costa Rica. **Journal of Policy Modeling**, v. 20, p. 11-31, 1998.
- DIMARANAN, B. e McDOUGALL, R. **Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 5 Data Base**. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2002.
- DOMINGUES, E.P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas**. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- FERRANTINO, M. **Estimating Effects of Trade Liberalization on Forest Cover: Some Methodological Issues**. OECD, 1999.
- FRANCOIS, J. Scale economies and imperfect competition in the GTAP model. **GTAP Technical Paper, n. 14**, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 1998. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso em: Nov/2004.
- FRENCH, H. F. Reconciling Trade and the Environment. In: L. R. Brown et al. (eds.), **State of the world-1993**, W. W. Norton & company, New York, 1993.
- FREDRIKSSON, P. Trade Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues”, In: Fredriksson, P., **Trade Global Policy, and the Environment**, Washington D. C.: The World Bank, 1999.
- FRIEDMAN, J. W. **Game Theory with Applications to Economics**. New York: *Oxford University Press*, 1986.
- GOHIN, A. e HERTEL, T. A Note on the CES Functional Form and Its Use in the GTAP Model, **Centre for Global Trade Analysis**, Purdue University, 2003.
- GROSSMAN, G. M., KRUEGER, A. B. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. **NBER Working Paper** no. 3914, November, 1991.
- GROSSMAN, G. M., KRUEGER, A. B. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. In: P. Garber, **The Mexico-US Free trade Agreement**, (Cambridge, Ma: MIT Press), 1993.
- GRUBEL, H. G. Some Effects of Environmental Controls on International Trade: The Heckscher-Ohlin Model. In: Walter, I. **Studies in International Environmental Economics**, New York: John Wiley & Sons, 1976.

- GUILHOTO, J.J.; LOPES, R; SEROA DA MOTTA, R. Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira, 2002-12. Rio de Janeiro: **IPEA**, 2002. (Texto para Discussão: 892)
- HADDAD, E. A. & HEWINGS, G. J. D. The Theoretical specification of B-MARIA. **Discussion Paper 97-t-5**. University of Illinois at Urbana-Champaign, Regional Economics Applications Laboratory, 1997.
- HARRISON, G.; RUTHERFORD, T.; TARR, D. Quantifying the Uruguai Round. **The Economic Journal**, v.107, p. 1405-30, 1997.
- HERTEL, T. ed. **Global Trade Analysis: Modeling and Applications**. Cambridge University Press, New York, 1997.
- HERTEL, T.; ANDERSON, K.; FRANÇOIS, J. e MARTIN, W. Agriculture and Non-agricultural Liberalization in the Millennium Round. Revised version of a paper presented at **Global Conference on Agriculture and the New Trade Agenda: Interests and Options in WTO 2000 Negotiations**, World Bank and WTO, Geneve, October 1-2, 1999, 2000.
- HOEKMAN, B.; SCHIFF. M.; WINTERS, L. Regionalism and development: Main messages from a World Bank research project. **Development Research Group**, Washington DC: World Bank, 1998.
- HOGG R. V. ; CRAIG A. T. **Introduction to Mathematical Statistics**. 3.ed, MacMillan Publishing Co, New York, 1970.
- HUANG, H. and LABYS, W. C. Environment and trade: A review of issues and methods. **International Journal of Global Environmental Issues**, v. 2, p. 100-160, 2002.
- IPCC/OECD/IEA. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), International Energy Agency (IEA), 1997.
- JOMINI, P.; ZEITSCH, J.; McDOUGALL, A.; WELSH, S.; HAMBLEY, J. and KELLY, J. SALTER: **A general Equilibrium Model of the World Economy**, v. 01, "Model Structure, Database and Parameters." Canberra, Australia: Industry Commission, 1991.
- KEHOE, P. J. e KEHOE, T. J. A Primer on Static Applied General Equilibrium Models. **Quarterly Review**, Federal Reserve Bank of Minneapolis, Spring issue, p. 2-16, 1994.
- KELER, W. **Tax Incidence, A General Equilibrium Approach**, North Holland, 1980.

- KREPS, D. M. **Game Theory and Economic Modeling Oxford**: Oxford University Press, 1990.
- KRUGMAN, P. International competitiveness: a dangerous obsession. **Foreign Affairs**, p.28-44, March-April, 1994.
- KUIT, O. The Effect of Trade Liberalization on Carbon Leakage under the Kyoto Protocol: Experiments with GTAP-E In: **4<sup>th</sup> Annual Conference on Global Economic Analysis**, June 27-29. Purdue University, 2001.
- LABYS, W. C.; TAKAYAMA, T. e URI, D. N. (eds). **Quantitative Methods for Market-Oriented Economic Analysis over Space and Time**, Aldershot: Gower Publishing Company Limited, 1989.
- LAKAHMANAN, T.; BOLTON, R. Regional energy and environmental analysis, In: NIJKAMP, P. (ed.), **Handbook of Regional and Urban Economics, V. 01: Regional Economics**, p.581-628, Amsterdam: North-Holland, 1986.
- LEAMER, E. E. The Leontief Paradox Reconsidered. **Journal of Political Economy** v.88, p. 495-503, 1980.
- LEE, H. An Emissions Data Base for Integrated Assessment of Climate Change Policy Using GTAP. **GTAP Technical Paper No. 1143**, Center for Global Trade and Analysis, Purdue University, 2003. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso em: Jul/2004.
- LEE, H. e ROLAND-HOLST, D. The Environment and Welfare Implication of Trade and Tax Policy. **Journal of Development Economics**, v. 52, n.1, p. 65-82, 1997.
- LEONTIEF, W. W.; CARTER, A. P. e PETRI, P. A. **The Future of the World Economy**, Oxford: Oxford University Press.1977.
- LEONTIEF, W. W. National income, economic structure, and environmental externalities, In: **Studies in Income and Wealth**, v. 38, New York: National Bureau of Economic Research, 1973.
- LEONTIEF, W. W. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach, **The Review of Economics and Statistics**, v. 52, p. 262-71, 1970.
- LEONTIEF, W. W. **Input-Output Economics**, New York: Oxford University Press. 1966.
- LIGHT, M.; KOLDSTAD, C.; RUTHERFORD, T. Coal Markets and the Kyoto Protocol. November, 1999. (mimeo)

- LIMA, P. **Relações Econômicas do Ceará e a Importância da Água e da Energia Elétrica no Desenvolvimento do Estado.** 2002, 245p. Tese Doutorado - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- LIU S. **Gaussian Quadrature and Its Applications.** 1997. PhD Dissertation - Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- LUPTACIK, M.; SCHUBERT, U. Optimal Investment Policy in Productive Capacity and Pollution Abatement Processes in a Growing Economy. In: Feichtinger, G. (ed.), **Optimal Control Theory and Economic Analysis**, Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1982.
- MALCOLM, R. Adjusting tax rates in the GTAP Data Base. **GTAP Technical Paper No. 12**, Center for Global Trade and Analysis, Purdue University, 1998. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso em: Set/2004.
- MCDOUGALL, R.; ELBEHRI, A. e TRUONG, T. **Global trade, assistance and protection: The GTAP 4 Data Base**, Purdue University: Center for Global Trade and Analysis, 1998.
- MELVIN, J. R. Production and Trade with Two Factor and Three Goods. **American Economic Review**, v. 63, p. 1249-68, 1968.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Efeito estufa e a convenção sobre a mudança no clima. 1999. Disponível em: [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br) Acesso: Agosto/2004.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Pontos de vista do Brasil sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM), 1999. Disponível em : [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br) Acesso: Agosto/2004.
- OCDE. Action Against Climate Change: The Kyoto Protocol and Beyond. **OCDE Publications Service**, 1999.
- OECD/IEA. Energy Balances of OECD Countries, 1996-1997. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), International Energy Agency (IEA), 1999a.
- OECD/IEA. Energy Balances of Non-OECD Countries, 1996-1997. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), International Energy Agency (IEA), 1999b.
- OLIVEIRA MARTINS, J. Unilateral Emissions reduction, Competitiveness of energy-intensive industries and carbon leakages. In: OECD: **Global Warming: Economic Dimensions and Policy Responses**, 1996.

- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO. Special Studies: Trade and Environment. 1999. Disponível em: [http://www.wto.org/english/tratop\\_e/envir\\_e/envir\\_backgrnd\\_e/contents\\_e.htm](http://www.wto.org/english/tratop_e/envir_e/envir_backgrnd_e/contents_e.htm). Acesso: Janeiro/2003.
- PANAGARIYA, A. An empirical estimate of static welfare losses to México from NAFTA. Center of International Economics, University of Maryland, 1997.
- PANT, H. **Global Trade and Environment Model (GTEM): A computable general equilibrium model of the global economy and environment**. ABARE, Canberra, 2002b.
- PANT, H.; TULPULE, V.; FISHER, B. The Global Trade and Environment Model: GTEM. **Fifth Annual Conference on Global Economic Analysis**, Taiwan, 2002.
- PEREIRA, L. V. Impactos da Alca e do Acordo Mercosul-União Européia nas economias brasileira e argentina: um mapeamento preliminar. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**, v.13, n.67, p.31-34, 2001.
- PEREIRA, A. e MAY, P. Economia do Aquecimento Global. In: Peter May, Maria Cecília Lustosa e Valéria da Vinha (Orgs.)- **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática** Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- PERRONI, C. e WIGLE, R. M. International Trade and Environment Quality: How Important are the Linkages? **Canadian Journal of Economics**, v.27, n.3, p.551-67, 1994.
- PORTER, M. E. e van der LINDE, C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v.9, p.97-118, 1995.
- PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em: [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br). Acesso: Fev/2003
- RUTHERFORD, T.; MONTGOMERY, W.; BERNSTEIN, P. CETM: A Dynamic General Equilibrium Model of Global Energy Markets, Carbon Dioxide Emissions and International Trade. **University of Colorado, Working Paper 97-3**, Boulder, 1997
- SAMUELSON, P. A. Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. **American Economic Review**, v.42, p.283-303, 1952.
- SEGERSON, K. Natural Resource Concepts in Trade Analysis. In: Sutton, J. D. (eds.), **Agricultural Trade and Natural Resources: Discovering the Critical Linkages**, Boulder & London: Lynne Rienner Publishers, Inc., 1988.
- SEM, A. Neo-classical and neo-Keynesian Theories of Distribution. **Economic Record**, v. 39, p.54-64, 1963.

- SEROA DA MOTTA, R. Padrão de Consumo, Distribuição de Renda e o Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro, **IPEA**, jan., 2002. (Texto para Discussão, 856). Disponível em: [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br) Acesso: Jun/2003.
- SEROA DA MOTTA, R; FERRAZ, C.; YOUNG, C. E. F.; AUSTIN, D. ; FAETH, P. O. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o financiamento de desenvolvimento sustentável no Brasil. **IPEA**, 2000. (Texto para discussão, nº 761). Disponível em: [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br) Jun/2003.
- SIEBERT, H. Environmental Quality and the Gains form Trade, **Kyklos** v.30, n.4, p. 657-73, 1977.
- SIEBERT, H. **Economics of the Environment: Theory and Policy**, Berlim: Spinger-Verlag, 1992.
- SIEBERT, H.; EICHBERGER, J.; GRONYCH, R. e PETHIG, R. **Trade and Environment: A Theoretical Enquiry**. Elsevier Scientific publishing Company, New York, 1980.
- STROUD, A.H. Remarks on the Disposition of Points in Numerical Integration Formulas. **Math. Tables Aids Comput.**, v.11, p.257-61, 1957.
- STRUTT, A. e ANDERSON, K. Will Uruguay Round and APEC Trade Liberalization Harm the Environment in Indonesia? **ACIAR Indonesia Research Project Working Paper 98./02**, 1999.
- TAKAYAMA, T. e WOODLAND. Equivalence of Price and Quantiy Formulations of Spatial Equilibrium: Purified Duality in Quadratic and Concave Programming. **Econometrica**, v. 38, p.889-906, 1970.
- TAKAYAMA, T. e JUDGE, G. Equilibrium Among Spatially Separated Markets: A Reformulation. **Econometrica**, v. 32, p.510-24, 1964.
- TIETENBERG, T. **Environmental and Natural Resource Economics**. 3<sup>a</sup>. edição, New York: HarperCollins, 1992.
- TOBEY, J. The Effects of Domestic Environmental Policies on Patterns of World Trade: an Empirical Test, **Kyklos**, v. 43, n.2, p.191-209, 1990.
- TOGEIRO de ALMEIDA, L. **Política Ambiental: uma análise econômica**. Fundação Editora Unesp, São Paulo, 1998.
- TOURINHO, O.; ANDRADE, S. Cenários para o início do milênio no Brasil. **IPEA**, Abr., 1998. (mimeo)

- TOURINHO, O.; KUME, H.; PEDROSO, A. Elasticidades de Armington para o Brasil-1986-2002: novas estimativas. Rio de Janeiro: **IPEA**, 2003. (Texto para Discussão: 974) Disponível em: [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br) Acesso: Out/2003.
- TOURINHO, O.; SEROA DA MOTTA, R.; ALVES, Y. Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Rio de Janeiro: **IPEA**, 2003. (Texto para Discussão: 976). Disponível em: [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br) Acesso: Dez/2003.
- ULPH, A.e ALENTINI, L. Plant location and Strategic Environmental Policy with Intersectorial Linkages. **Resource and Energy Economics** v. 19, n.4, p.363-83, 1997.
- UNTEROBERDOERSTER, O. Trade Policy and Environmental Regulation in the Asia-Pacific: A Simulation, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2003.
- VAN BEERS, C. e VAN DER BERGH, J. C. J. M. An Empirical Multi-Country Analysis of the Impact of Environmental Regulations on Foreign Trade Flows. **Kyklos**, v.50, n.1, p. 9-46, 1997.
- VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; NIJKAMP, P. E RIETVELD, P. (eds.) **Recent Advances in Spatial Equilibrium Modeling: Methodology and Applications**. New York: Springer, 1996.
- VANEK, J. The Factor Proportion Theory: the n-Factor Case. **Kyklos** v. 21, p.749-56, 1968.
- VARIAN, H. R. **Microeconomic Analysis**. 3<sup>a</sup>. Edition. W. W. Norton & Company, London, 1992.
- VINER, J. **The Custom Union Issue**. London: Carnegie Endowment for International Peace, 1950
- WALTER, I. **International Economics of Pollution**. New York: John Wiley & Sons, 1975.
- WIGLE, R. The Pagan-Shannon approximation: unconditional systematic sensitivity in minutes. **Empirical Economics**, v.16, p. 35-49, 1991.
- WINTERS, L. Regionalism and the rest of the world: The irrelevance of the Kemp-Wan theorem. **Oxford Economic Paper**, v.49, p. 228-34, 1997.
- YOUNG, C. Trade and the Environment: Linkages between Competitiveness and Industrial Pollution in Brazil, in: Munasinghe, M. (ed.) **Report to the Research Project Making Long-Term Growth More Sustainable: Brazil Country Case Study**, The World Bank, Washington, 2002.

## ANEXOS

ANEXO A – Dados, variáveis, coeficientes e equações específicas do GTAP-E.....	160
Quadro A.1 Conjuntos básicos do modelo.....	160
Quadro A.2 Conjuntos adicionais relacionados à emissão de carbono e setores de energia.....	161
Quadro A.3 Conjuntos adicionais relacionados ao “ninho-energia” de produção.....	162
Quadro A.4 Conjuntos adicionais relacionados ao comércio de emissões.....	162
Quadro A.5 Variáveis associadas com o uso de energia (toe), emissões de carbono (toneladas de C), comércio de emissões e impostos sobre carbono.....	163
Quadro A.6 Variáveis dummies relacionadas ao “ninho-energia” e comércio de emissões.....	167
Quadro A.7 Equações da estrutura de produção relacionadas ao “ninho de energia”.....	168
Quadro A.8 Equações relacionadas às emissões de CO <sub>2</sub> .....	169
Quadro A.9 Equações que calculam a variação do preço médio da energia.....	170
Quadro A.10 Equações que calculam a base de cálculo do imposto dos setores de energia que produzem carbono.....	171
Quadro A.11 Equações que calculam a “potência” do imposto sobre carbono.....	172
Quadro A.12 Equações da Matriz de Contabilidade Social relacionadas à agência de carbono.....	173
Quadro A.13 Coeficientes que calculam o imposto sobre carbono originado pela demanda doméstica....	174
Quadro A.14 Fluxos da base de dados especificamente associados ao uso de energia em unidades físicas (toe) e emissões de carbono (toneladas de CO <sub>2</sub> ).....	175
 ANEXO B – <i>CLOSURE</i> dos Cenários.....	 177
 ANEXO C - Parte-Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões....	 182
 ANEXO D – Código das regiões do GTAP (versão 5.4).....	 183

## ANEXO A – Dados, variáveis, coeficientes e equações específicas do GTAP-E

Quadro A.1 - Conjuntos básicos do modelo

Conjunto	Descrição	Elementos
REG	Regiões do modelo	Brasil, EUA, México, Canadá, RMERC, RALCA, EU, OANEX1, OGEMISS, ROW
TRAD_COMM	<i>Commodities</i> comercializáveis	Agriculture, Coal, Oil, Gás, Oil_Pcts, Electricity, En_Int_Ind, Oth_Ind_Ser
MARG_COMM	<i>Commodities</i> de margens (transporte)	Oth_Ind_Ser
NMRG_COMM	<i>Commodities</i> não-margens	TRAD_COMM - MARG_COMM
CGDS_COMM	<i>Commodities</i> bens de capital	CGDS
ENDW_COMM	<i>Commodities</i> de dotação	Land, Lab, Capital, NatlRes
PROD_COMM	<i>Commodities</i> produzidos	TRAD_COMM union CGDS_COMM
DEMD_COMM	<i>Commodities</i> de demanda	ENDW_COMM union TRAD_COMM
NSAV_COMM	<i>Commodities</i> não-poupança	DEMD_COMM union CGDS_COMM
ENDWS_COMM	<i>Commodities</i> de dotação c/pouca mobilidade	ENDW_COMM: SLUG(i)>0
ENDWM_COMM	<i>Commodities</i> de dotação móveis	ENDW_COMM - ENDWS_COMM
ENDWC_COMM	<i>Commodity</i> capital	Capital

Quadro A.2 - Conjuntos adicionais relacionados à emissão de carbono e setores de energia

<b>Conjunto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Elementos</b>
<b>EGYCOM</b>	<i>Commodities</i> de energia do GTAP	Coal,Oil,Gas,Oil_Pcts,Electricity
<b>EGYCOM2</b>	EGYCOM exceto Petróleo	Coal,Gas,Oil_Pcts,Electricity
<b>EGYCOM3</b>	Setores sujeitos a impostos s/carbono	Coal,Oil,Gas,Oil_Pcts
<b>NEGYCOM3</b>	Conj. Trabalho:TRAD_COMM-EGYCOM3	Agriculture,Electricity,En_Int_ind,Oth_ind_ser
<b>NEGYCOM3B</b>	Conj. Trabalho: EGYCOM - EGYCOM3	Electricity
<b>OILS</b>	Petróleo	Oil
<b>NOILS</b>	Setores sujeitos a impostos no uso de óleo cru	Agriculture,Coal,Gas,Electricity,En_Int_ind,Oth_ind_ser,CGDS
<b>OILEXS</b>	Setores isentos de impostos no óleo cru	Oil, Oil_Pcts
<b>COALS</b>	Carvão	Coal
<b>NCOALS</b>	Setores sujeitos a impostos no uso de carvão	Agriculture,Oil,Gas,Oil_Pcts,Electricity,En_Int_ind,Oth_ind_ser,CGDS
<b>GASS</b>	Gás natural	Gas
<b>NGASS</b>	Setores sujeitos a impostos no uso do Gás	Agriculture,Coal,Oil,Oil_Pcts,Electricity,En_Int_ind,Oth_ind_ser,CGDS
<b>GASEXS</b>	Setores isentos de impostos no uso de gás	Gas
<b>OIL_PCS</b>	Produtos derivados de petróleo carvão	Oil_Pcts
<b>NOIL_PCS</b>	Setores sujeitos a impostos no uso de produtos derivados	Agriculture,Coal,Oil,Gas,Electricity,En_Int_ind,Oth_ind_ser,CGDS
<b>OIL_PCEXS</b>	Setores isentos de impostos no uso de óleo cru	Oil_Pcts
<b>NETRAD_COMM</b>	<i>Commodities</i> comercializáveis não-energia	TRAD_COMM - EGYCOM
<b>ENDWNA_COMM</b>	<i>Commodities</i> de dotação não-acumuláveis	ENDW_COMM - ENDWC_COMM

**Quadro A.3 - Conjuntos adicionais relacionados ao “ninho-energia” de produção**

<b>Conjunto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Elementos</b>
<b>LEVEL1</b>	<b>Primeiro nível: composto fatores primários+bens de energia</b>	<b>ENDW_COMM UNION EGYCOM</b>
<b>LEVEL2</b>	<b>Segundo nível: composto capital+bens de energia</b>	<b>ENDWC_COMM UNION EGYCOM</b>
<b>ELYS</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>Electricity</b>
<b>LEVEL3</b>	<b>Terceiro nível: composto de bens não-eletricidade</b>	<b>EGYCOM - ELYS</b>
<b>LEVEL4</b>	<b>Quarto nível: composto de bens de energia não-carvão</b>	<b>LEVEL3 - COALS</b>

**Quadro A.4 - Conjuntos adicionais relacionados ao comércio de emissões**

<b>Conjunto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Elementos</b>
<b>REGTR</b>	<b>Regiões pertencentes ao comércio de emissões</b>	<b>D_MARK(r)* = 1</b>
<b>NOREGTR</b>	<b>Regiões não pertencentes ao comércio de emissões</b>	<b>D_MARK(r) = 0</b>

\* Esta variável é uma *dummy* que indica se a região pertence ao comércio de emissões (1) ou não (0).

**Quadro A.5 - Variáveis associadas com o uso de energia (toe), emissões de carbono (toneladas de C), comércio de emissões e impostos sobre carbono**

<b>Variável</b>	<b>Dimensão*</b>	<b>Descrição</b>
<b>apen(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual no preço médio da energia</b>
<b>C_TAXBAS(r,i)</b>	<b>(all,r,REG) (all,i,EGYCOM)</b>	<b>Valor básico (US\$ M) para cálculo para alíquota <i>ad valorem</i> do importo s/ carbono*</b>
<b>C_NOMCTAX_L(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Valor nominal do imposto em nível s/carbono</b>
<b>C_VCTAX(r,i)</b>	<b>(all,r,REG)(all,i,EGYCOM3)</b>	<b>Montante do imposto s/carbono, em US\$ Milhões</b>
<b>CNTco2trd(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Contribuição do comércio de carbono para o EV regional</b>
<b>dcwfd(i,j,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da potência do imposto s/carbono no uso doméstico pelas firmas</b>
<b>dcwfi(i,j,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da potência do imposto s/carbono no uso de importados pelas firmas</b>
<b>dcwgd(i,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM) (all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da potência do imposto s/carbono no uso doméstico pelo governo</b>
<b>dcwgi(i,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM) (all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da potência do imposto s/carbono no uso de importados pelo governo</b>
<b>dcwpd(i,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM) (all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da potência do imposto s/carbono no uso de produtos doméstico pelas famílias</b>
<b>dcwpi(i,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM) (all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da potência do imposto s/carbono no uso de importados pelas famílias</b>



Continuação...

<b>Variável</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Descrição</b>
<b>DTBALCTRA(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Variação do valor do saldo comercial incluindo o comércio de emissões</b>
<b>DVCO2TRA(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Variação do valor do comércio de emissões líquido</b>
<b>gco2(r,i)</b>	<b>(all,r,REG) (all,i,EGYCOM)</b>	<b>Crescimento de emissões por combustível</b>
<b>gco2q(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Crescimento da quota de emissões por região</b>
<b>gco2t(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Crescimento de emissões por região</b>
<b>gmarkco2t</b>		<b>Variação percentual do total de emissões no mercado multi-regional</b>
<b>gmarkco2t</b>		<b>Variação do imposto s/carbono nominal no mercado multi-regional</b>
<b>NCTAX(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Variação do imposto s/carbono nominal, por toneladas de carbono – em US\$ de 1997</b>
<b>p_CO2_L(r,i)</b>	<b>(all,r,REG)(all,i,EGYCOM)</b>	<b>Nível de emissões</b>
<b>p_CPOWER(r,i)</b>	<b>(all,r,REG) (all,i,EGYCOM3)</b>	<b>Potência do imposto s/carbono</b>
<b>P_VDFA_L(i,j,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Valor das compras domésticas de energia pelas firmas, em US\$ Milhões, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>P_VDGA_L(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Valor das compras domésticas de energia pelo governo, em US\$ Milhões, excluindo imposto s/carbono</b>

Continuação...

<b>Variável</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Descrição</b>
<b>P_VDPA_L(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Valor das compras domésticas de energia pelas famílias, em US\$ Milhões, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>P_VIFA_L(i,j,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Valor das compras externas de energia pelas firmas, em US\$ Milhões, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>P_VIGA_L(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Valor das compras externas de energia pelo governo, em US\$ Milhões, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>P_VIPA_L(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Valor das compras externas de energia pelo governo, em US\$ Milhões, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>pen(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Preço do composto energia (elétrico+não-elétrico) na indústria j na região r</b>
<b>pfdnc(i,j,r)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Índice de preço para compras domésticas de i por j na região s, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>pfmnc(i,j,s)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,s,REG)</b>	<b>Índice de preço para compras externas de i por j na região s, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>pgdnc(i,s)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,s,REG)</b>	<b>Preço do produto doméstico i para o governo em s, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>pgmnc(i,s)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,s,REG)</b>	<b>Preço do produto importado i para o governo em s, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>pke(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Preço do composto capital+energia na indústria j na região r</b>

Continuação...

<b>Variável</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Descrição</b>
<b>pncoal(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Preço do composto não-carvão na indústria j na região r</b>
<b>pnel(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Preço do composto não-elétrico na indústria j na região r</b>
<b>ppdnc(i,s)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,s,REG)</b>	<b>Preço do produto doméstico i para as famílias em s, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>ppmnc(i,s)</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,s,REG)</b>	<b>Preço do produto importado i para as famílias em s, excluindo imposto s/carbono</b>
<b>qdem(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual da demanda total de bens energia, em quantidade</b>
<b>qen(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Composto energia (elétrico+não-elétrico) na indústria j na região r</b>
<b>qke(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Composto capital-energia na indústria j na região r</b>
<b>qncoal(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Composto energia não-carvão na indústria j na região r</b>
<b>qnel(j,r)</b>	<b>(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>Composto energia não-elétrico na indústria j na região r</b>
<b>RCTAX(r)</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>Variação do imposto s/carbono real, por toneladas de carbono – em US\$ de 1997</b>
<b>vdem(i,r)</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>Variação percentual do valor total da demanda de bens de energia</b>

\* Na linguagem do GEMPACK (all,i,EGYCOM), por exemplo, significa todos elementos i pertencentes ao conjunto EGYCOM.

Quadro A.6 – Variáveis *dummies* relacionadas ao “ninho-energia” e comércio de emissões

Variável	Dimensão	Descrição
$D\_NEGY(i,j,r) = 0$	$(all,i,TRAD\_COMM)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de energia
$D\_NEGY(i,j,r) = 1$	$(all,i,NETRAD\_COMM)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de não-energia
$D\_ELY(i,j,r) = 1$	$(all,i,TRAD\_COMM)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de eletricidade
$D\_ELY(i,j,r) = 0$	$(all,i,TRAD\_COMM)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de outros
$D\_COAL(i,j,r) = 1$	$(all,i,COALS)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de carvão
$D\_COAL(i,j,r) = 0$	$(all,i,TRAD\_COMM)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de outros
$D\_OFF(i,j,r) = 1$	$(all,i,LEVEL4)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de petróleo, gás natural e produtos derivados de petróleo
$D\_OFF(i,j,r) = 0$	$(all,i,TRAD\_COMM)(all,j,PROD\_COMM)(all,r,REG)$	Para demanda intermediária de outros
$D\_MARK(r) = 1$	$(all,r,REG)$	País pertencente ao mercado de carbono
$D\_MARK(r) = 0$	$(all,r,REG)$	País não pertencente ao mercado de carbono

Quadro A.7 – Equações da estrutura de produção relacionadas ao “ninho de energia”

Nome	Descrição	Equação
VADEMAND	Demanda do setor para o composto de fatores primários + energia	$qvaen(j,r) = -ava(j,r) + qo(j,r) - ao(j,r) - ESUBT(j) * [pvaen(j,r) - ava(j,r) - ps(j,r) - ao(j,r)]$
INTDEMAND	Demanda da indústria para insumos intermediários, inclusive egds	$qf(i,j,r) = (D\_NEGY(i,j,r) * D\_VFA(i,j,r) * [-af(i,j,r) + qo(j,r) - ao(j,r) - ESUBT(j) * [pf(i,j,r) - af(i,j,r) - ps(j,r)]] + (D\_ELY(i,j,r) * D\_VFA(i,j,r) * [-af(i,j,r) + qen(j,r) - ELELY(j,r) * [pf(i,j,r) - af(i,j,r) - pen(j,r)]] + (D\_COAL(i,j,r) * D\_VFA(i,j,r) * [-af(i,j,r) + qnel(j,r) - ELCO(j,r) * [pf(i,j,r) - af(i,j,r) - pnel(j,r)]] + (D\_OFF(i,j,r) * D\_VFA(i,j,r) * [-af(i,j,r) + qncoal(j,r) - ELFU(j,r) * [pf(i,j,r) - af(i,j,r) - pncoal(j,r)]] )$
ENDWDEMAND	Demanda por commodities dotação com exceção para o composto capital+energia	$qfe(i,j,r) = -afe(i,j,r) + qvaen(j,r) - ESUBVA(j,r) * [pfe(i,j,r) - afe(i,j,r) - pvaen(j,r)]$
KDEMAND	Demanda por capital	$qfe(i,j,r) = -afe(i,j,r) + qke(j,r) - ELKE(j,r) * [pfe(i,j,r) - afe(i,j,r) - pke(j,r)]$
KEDEMAND	Demanda pelo composto capital+energia	$qke(j,r) = qvaen(j,r) - ESUBVA(j,r) * [pke(j,r) - pvaen(j,r)]$
AFWORLD	Taxa média específica da região ou setor de melhora tecnológica em intermediários	$af(i,j,r) = afcom(i) + afsec(j) + afreg(r) + afall(i,j,r)$
INDDOM	Demanda da indústria j pelo bem doméstico i	$qfd(i,j,s) = qf(i,j,s) - ESUBD(i) * [pfd(i,j,s) - pf(i,j,s)]$
INDIMP	Demanda da indústria j pelo composto de bens importados i	$qfm(i,j,s) = qf(i,j,s) - ESUBM(i) * [pfm(i,j,s) - pf(i,j,s)]$
ENDEMAND	Demanda pelo composto de bens de energia	$qen(j,r) = [qke(j,r) - ELKE(j,r) * [pen(j,r) - pke(j,r)]]$
NELYDEMAND	Demanda pelo composto de bens de energia não-elétricos	$qnel(j,r) = [qen(j,r) - ELELY(j,r) * [pnel(j,r) - pen(j,r)]]$
NCOALDEMAND	Demanda pelo composto de bens de energia não-carvão	$qncoal(j,r) = [qnel(j,r) - ELCO(j,r) * [pncoal(j,r) - pnel(j,r)]]$

Quadro A.8 – Equações relacionadas às emissões de CO2

Nome	Descrição	Equação
CEMISSIONS	Crescimento das emissões por combustível (exceto petróleo cru)	$DCVOL(r,i)*gco2(r,i) = (DVOL(r,i)*qo(i,r)) + (MVOL(r,i)*qim(i,r)) - (XVOL(r,i)*qxw(i,r))$
OILEMISSIONS	Crescimento das emissões do óleo cru	$OILSALES(r,i)*gco2(r,i) = \sum(j,PROD\_COMM,VFA(i,j,r)*qf(i,j,r)) - \sum(j,OIL\_PCS,VFA(i,j,r)*qf(i,j,r)) + (VPA(i,r)*qp(i,r)) + (VGA(i,r)*qg(i,r))$
TOTALEMISSIONS	Total de emissões de CO2 em Milhões de toneladas de carbono	$CO2T(r)*gco2t(r) = \sum(i,EGYCOM,CO2(r,i)*gco2(r,i))$
MARKEMISS	Crescimento de emissões no mercado multi-regional	$MARKCO2T * gmarkco2t = (D\_EMTRA*\sum\{r,REGTR,CO2T(r)*gco2t(r)\}) + ((1-D\_EMTRA)*\sum\{r,REG,CO2T(r)*gco2t(r)\})$
EMQUOTA	Crescimento das quotas de emissão	$gco2q(r) = gco2t(r)$
EMTRADING	Equação que calcula o valor do comércio de emissões líquido	$DVCO2TRA(r) = (CO2Q(r)*NCTAXLEV(r)/100)*gco2q(r) - (CO2T(r)*NCTAXLEV(r)/100)*gco2t(r) + (CO2Q(r)-CO2T(r))*NCTAX(r)$
TRAEMTRADBAL	Soma do saldo comercial e comércio de emissões líquido	$DTBALCTRA(r) = DTBAL(r) + DVCO2TRA(r)$
REALTAXCH	Calcula a taxa real de variação do imposto s/carbono no mercado multi-regional	$RCTAX(r) = D\_MARK(r) * (1/GDPIND(r))$
NOMCTAX	Converte a taxa real em nominal	$NCTAX(r) = (1-D\_MARK(r))*GDPIND(r)*RCTAX(r) + D\_MARK(r) * MARKCTAX + (1-D\_MARK(r))*(0.01*NCTAXLEV(r)) * pgdp(r)$

Quadro A.9 – Equações que calculam a variação do preço médio da energia

Nome	Descrição	Equação
TOTVALEN	Variação do preço médio do valor adicionado	$\text{TOTDEM}(i,r) * \text{vdem}(i,r) = \text{sum}\{j, \text{PROD\_COMM}, (\text{VDFA}(i,j,r) * (\text{pfd}(i,j,r) + \text{qfd}(i,j,r)))\} + \text{sum}\{j, \text{PROD\_COMM}, (\text{VIFA}(i,j,r) * (\text{pfm}(i,j,r) + \text{qfm}(i,j,r)))\} + (\text{VDPA}(i,r) * (\text{ppd}(i,r) + \text{qpd}(i,r))) + (\text{VIPA}(i,r) * (\text{ppm}(i,r) + \text{qpm}(i,r))) + (\text{VDGA}(i,r) * (\text{pgd}(i,r) + \text{qgd}(i,r))) + (\text{VIGA}(i,r) * (\text{pgm}(i,r) + \text{qgm}(i,r)))$
TOTQUAEN	Variação do preço médio da demanda total de energia	$\text{TOTDEM}(i,r) * \text{qdem}(i,r) = \text{sum}\{j, \text{PROD\_COMM}, (\text{VDFA}(i,j,r) * \text{qfd}(i,j,r))\} + \text{sum}\{j, \text{PROD\_COMM}, (\text{VIFA}(i,j,r) * \text{qfm}(i,j,r))\} + (\text{VDPA}(i,r) * \text{qpd}(i,r)) + (\text{VIPA}(i,r) * \text{qpm}(i,r)) + (\text{VDGA}(i,r) * \text{qgd}(i,r)) + (\text{VIGA}(i,r) * \text{qgm}(i,r))$
AVPRICE	Preço médio da energia em variação percentual em termos reais	$\text{apen}(i,r) = \text{vdem}(i,r) - \text{qdem}(i,r) - \text{pgdp}(r)$

Quadro A.10 – Equações que calculam a base de cálculo do imposto dos setores de energia que produzem carbono

Nome	Descrição	Equação
VALCTAX	Montante de impostos sobre carbono por energia	$VCTAX(r,i) = CO2\_L(r,i) * NOMCTAX\_L(r)$
E_TAXBASCOAL	Base de cálculo (US\$ Milhões) para alíquotas ad-valorem do imposto sobre carbono (carvão)	$CTAXBAS(r,"Coal") = \text{sum}(j,NCOALS,VDFA\_L("Coal",j,r)) + \text{sum}(j,NCOALS,VIFA\_L("Coal",j,r)) + VDPA\_L("Coal",r) + VIPA\_L("Coal",r) + VDGA\_L("Coal",r) + VIGA\_L("Coal",r)$
E_TAXBASOIL	Base de cálculo (US\$ Milhões) para alíquotas ad-valorem do imposto sobre carbono (petróleo cru)	$CTAXBAS(r,"Oil") = \text{sum}(j,NOILS,VDFA\_L("Oil",j,r)) + \text{sum}(j,NOILS,VIFA\_L("Oil",j,r)) + VDPA\_L("Oil",r) + VIPA\_L("Oil",r) + VDGA\_L("Oil",r) + VIGA\_L("Oil",r)$
E_TAXBASGAS	Base de cálculo (US\$ Milhões) para alíquotas ad-valorem do imposto sobre carbono (gás natural)	$CTAXBAS(r,"Gas") = \text{sum}(j,NGASS,VDFA\_L("Gas",j,r)) + \text{sum}(j,NGASS,VIFA\_L("Gas",j,r)) + VDPA\_L("Gas",r) + VIPA\_L("Gas",r) + VDGA\_L("Gas",r) + VIGA\_L("Gas",r)$
E_TAXBASOILPCS	Base de cálculo (US\$ Milhões) para alíquotas ad-valorem do imposto sobre carbono (produtos derivados de carvão e petróleo refinado)	$CTAXBAS(r,"Oil\_Pcts") = \text{sum}(j,NOIL\_PCS,VDFA\_L("Oil\_Pcts",j,r)) + \text{sum}(j,NOIL\_PCS, VIFA\_L("Oil\_Pcts",j,r)) + VDPA\_L("Oil\_Pcts",r) + VIPA\_L("Oil\_Pcts",r) + VDGA\_L("Oil\_Pcts",r) + VIGA\_L("Oil\_Pcts",r)$

Quadro A.11 – Equações que calculam a “potência” do imposto sobre carbono

Nome	Descrição	Dimensão	Equação
E_FDPOWERCOAL	Sobre insumos intermediários domésticos (carvão)	(all,i,COALS)(all,j,NCOALS)(all,r,REG)	$dcwfd(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FDPOWEROIL	Sobre insumos intermediários domésticos (petróleo cru)	(all,i,OILS)(all,j,NOILS)(all,r,REG)	$dcwfd(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FDPOWERGAS	Sobre insumos intermediários domésticos (gás natural)	(all,i,GASS)(all,j,NGASS)(all,r,REG)	$dcwfd(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FDPOWEROILPCS	Sobre insumos intermediários domésticos (produtos derivados de petróleo)	(all,i,OIL_PCS)(all,j,NOIL_PCS)(all,r,REG)	$dcwfd(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FIPOWERCOAL	Sobre insumos intermediários importados (carvão)	(all,i,COALS)(all,j,NCOALS)(all,r,REG)	$dcwfi(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FIPOWEROIL	Sobre insumos intermediários importados (petróleo cru)	(all,i,OILS)(all,j,NOILS)(all,r,REG)	$dcwfi(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FIPOWERGAS	Sobre insumos intermediários importados (gás natural)	(all,i,GASS)(all,j,NGASS)(all,r,REG)	$dcwfi(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$
E_FIPOWEROILPCS	Sobre insumos intermediários importados (produtos derivados de petróleo)	(all,i,OIL_PCS)(all,j,NOIL_PCS)(all,r,REG)	$dcwfi(i,j,r) = p\_CPOWER(r,i)$

<b>E_PDPOWER</b>	Sobre a demanda doméstica das famílias	(all,i,EGYCOM3)(all,r,REG)	$dcwpd(i,r) = p\_CPOWER(r,i)$
<b>E_PIPower</b>	Sobre a demanda de importados pelas famílias	(all,i,EGYCOM3)(all,r,REG)	$dcwpi(i,r) = p\_CPOWER(r,i)$
<b>E_GDPOWER</b>	Sobre a demanda doméstica pelo governo	(all,i,EGYCOM3)(all,r,REG)	$dcwgd(i,r) = p\_CPOWER(r,i)$
<b>E_GIPower</b>	Sobre a demanda de importados pelo governo	(all,i,EGYCOM3)(all,r,REG)	$dcwgi(i,r) = p\_CPOWER(r,i)$

Quadro A.12 – Equações da Matriz de Contabilidade Social relacionadas à Agência de Carbono

Nome/Descrição	Dimensão	Equação
<b>Imposto sobre carbono recolhido pela agência de carbono</b>	(all,i,CAGS)(all,j,TRAD_COMM)(all,r,REG)	$SOACMA1(i,j,r) = \sum\{k,TRAD\_COMM,(VDFA(k,j,r)-VDFANC(k,j,r))\} + \sum\{k,TRAD\_COMM,(VIFA(k,j,r)-VIFANC(k,j,r))\};$
<b>Imposto sobre carbono pago pelas famílias para agência de carbono</b>	(all,i,CAGS)(all,j,PHHS)(all,r,REG)	$SOACMA1(i,j,r) = \sum\{k,TRAD\_COMM,(VDPA(k,r)-VDPANC(k,r))\} + \sum\{k,TRAD\_COMM,(VIPA(k,r)-VIPANC(k,r))\};$
<b>Imposto sobre carbono pago pelo governo para agência de carbono</b>	(all,i,CAGS)(all,j,GOVS)(all,r,REG)	$SOACMA1(i,j,r) = \sum\{k,TRAD\_COMM,(VDGA(k,r)-VDGANC(k,r))\} + \sum\{k,TRAD\_COMM,(VIGA(k,r)-VIGANC(k,r))\};$
<b>Imposto sobre carbono pago pelos produtores de bens de investimento para agência de carbono</b>	(all,i,CAGS)(all,j,CGDS_COMM)(all,r,REG)	$SOACMA1(i,j,r) = \sum\{k,TRAD\_COMM,(VDFA(k,j,r)-VDFANC(k,j,r))\} + \sum\{k,TRAD\_COMM,(VIFA(k,j,r)-VIFANC(k,j,r))\};$

<p><b>Receita do agente regional representativo proveniente de todos os impostos sobre carbono recolhidos pela agência mais (ou menos) o valor da receita do comércio de emissões com as outras regiões.</b></p>	<b>(all,i,RHHS)(all,j,CAGS)(all,r,REG)</b>	<b>SOACMA1(i,j,r) = sum{k,EGYCOM,CTAXLV(r,k)} + VCO2TRA(r);</b>
<p><b>Comércio de emissões: vendas (ou compras) líquidas de emissões pela agência de carbono.</b></p>	<b>(all,i,CAGS)(all,j,ROWS)(all,r,REG)</b>	<b>SOACMA1(i,j,r) = VCO2TRA(r);</b>

**Quadro A.13 – Coeficientes que calculam o imposto sobre o carbono originado pela demanda doméstica**

<b>Nome/Descrição</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Equação</b>
<b>Imposto s/carbono pelo uso dos insumos intermediários doméstico pelas firmas (US\$ milhões).</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>FDTAX(i,j,r) = VDFA(i,j,r) - VDFANC(i,j,r);</b>
<b>Imposto s/carbono pelo uso dos insumos intermediários importados pelas firmas (US\$ milhões).</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>FDTAX(i,j,r) = VDFA(i,j,r) - VDFANC(i,j,r);</b>
<b>Imposto s/carbono pela demanda doméstica pelas famílias (US\$ milhões).</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>PDTAX(i,r) = VDPA(i,r) - VDPANC(i,r);</b>
<b>Imposto s/carbono pela demanda de importados pelas famílias (US\$ milhões).</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>PITAX(i,r) = VIPA(i,r) - VIPANC(i,r);</b>

<b>Imposto s/carbono pela demanda doméstica pelo governos (US\$ milhões).</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>GDTAX(i,r) = VDGA(i,r) - VDGANC(i,r);</b>
<b>Imposto s/carbono pela demanda de importados pelo governo (US\$ milhões) .</b>	<b>(all,i,EGYCOM)(all,r,REG)</b>	<b>GITAX(i,r) = VIGA(i,r) - VIGANC(i,r);</b>

**Quadro A.14 – Fluxos da base de dados especificamente associados ao uso de energia em unidades físicas (toe) e emissões de carbono (toneladas de CO2)**

<b>Nome</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Descrição</b>
<b>CO2</b>	<b>(all,r,REG)(all,i,EGYCOM)</b>	<b>CO2(r,i)</b>	<b>Emissões de CO2 em milhões de toneladas de carbono equivalente (toe)</b>
<b>CO2T</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>CO2T(r)</b>	<b>Emissões totais de CO2 em milhões de toe</b>
<b>CO2Q</b>	<b>(all,r,REG)</b>	<b>CO2Q(r)</b>	<b>Quota de emissões de CO2 em milhões de toe</b>
<b>CTLV</b>	<b>(all,r,REG)(all,i,EGYCOM)</b>	<b>CTAXVAL(r,i)</b>	<b>Valor total de impostos s/carbono em US\$ milhões</b>
<b>CTRA</b>	<b>(ALL,r,REG)</b>	<b>VCO2TRA</b>	<b>Valor da permissão de comércio em M 1997 USD</b>
<b>CVOL</b>	<b>(ALL,r,REG)(all,i,EGYCOM)</b>	<b>DCVOL</b>	<b>Demanda da mercadoria energia em M toe (exceto petróleo para derivados)</b>
<b>CWFD</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>CWFD(i,j,r)</b>	<b>Potência do imposto sobre carbono nos usos domésticos pelas firmas</b>
<b>CWFI</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>CWFI(i,j,r)</b>	<b>Potência do imposto sobre carbono nos usos de importados pelas firmas</b>

	)		
<b>CWGD</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>CWGD(i,r)</b>	<b>Potência do imposto sobre carbono nos usos domésticos pelo governo</b>
<b>CWGI</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>CWGI(i,r)</b>	<b>Potência do imposto sobre carbono nos usos importados pelo governo</b>
<b>CWPD</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>CWPD(i,r)</b>	<b>Potência do imposto sobre carbono nos usos domésticos pelas famílias</b>
<b>CWPI</b>	<b>(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)</b>	<b>CWPI(i,r)</b>	<b>Potência do imposto sobre carbono nos usos de importados pelas famílias</b>

Continuação...

Nome	Dimensão	Coefficiente	Descrição
DFNC	(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)	VDFANC(i,j,r)	Compras do insumo doméstico i para uso em j na região r, excluindo imposto sobre carbono.
DGNC	(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)	VDGANC(i,r)	Gasto do governo no doméstico i na região r, excluindo imposto sobre carbono
DPNC	(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)	VDPANC(i,r)	Gasto das famílias no doméstico i na região r, excluindo imposto sobre carbono.
DVOL	(ALL,r,REG)(all,i,EGYCOM)	DVOL(r,i)	Produção doméstica de commodities energia em toe
IFNC	(all,i,TRAD_COMM)(all,j,PROD_COMM)(all,r,REG)	VIFANC(i,j,r)	Compras do insumo importado i para uso em j na região r, excluindo imposto sobre carbono
IGNC	(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)	VIGANC(i,r)	Gasto do governo no importado i na região r, excluindo imposto sobre carbono.
IPNC	(all,i,TRAD_COMM)(all,r,REG)	VIPANC(i,r)	Gasto das famílias no importado i na região r, excluindo imposto sobre carbono.
MVOL	(ALL,r,REG)(all,i,EGYCOM)	MVOL(r,i)	Importação de commodities energia em toe
NTAX	(all,r,REG)	NCTAXLEV(r)	Nível nominal do imposto sobre carbono em US\$ por tonelada de carbono
PGDP	(all,r,REG)	GDPIND(r)	Índice de preço do PIB (GPD) = 1 em 1995
RTAX	(all,r,REG)	RCTAXLEV(r)	Nível real do imposto sobre carbono em US\$ por tonelada de carbono
XVOL	(ALL,r,REG)(all,i,EGYCOM)	XVOL(r,i)	Exportação de commodities energia em toe

## ANEXO B – CLOSURE dos Cenários

### Cenário Alca – Desgravação tributária entre os países da ALCA

! closure básico  
 exogenous  
 pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack cgdslack tradslack ams atm  
 atf ats atd aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall  
 afeall au dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW\_COMM,REG) RCTAX  
 MARKCTAX dcwfd(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG) dcwfd(COALS,COALS,REG)  
 dcwfd(OILS,OILEXS,REG) dcwfd(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfd(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwfi(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG)  
 dcwfi(COALS,COALS,REG) dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfi(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)  
 dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)  
 c\_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B) ;  
 Rest Endogenous ;

### Cenário Alca1 – Alca com Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões do modelo

! closure básico  
 exogenous  
 pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack tradslack ams atm atf ats atd  
 aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall afeall au  
 dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW\_COMM,REG) MARKCTAX  
 dcwfd(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG) dcwfd(COALS,COALS,REG)  
 dcwfd(OILS,OILEXS,REG) dcwfd(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfd(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwfi(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG)  
 dcwfi(COALS,COALS,REG) dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfi(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)  
 dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)  
 c\_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B)

! closure específico para abatimento e comércio de emissões  
 ! DTBALCTRA (incl. permit trading) exogenous for all regions except one,  
 ! and cgdslack exogenous for that one region (which can be any one).  
 dtbalctra("Brasil") dtbalctra("EUA") dtbalctra("UE") dtbalctra("RMERC")  
 dtbalctra("OANEX1") dtbalctra("RALCA") dtbalctra("Mexico") dtbalctra("Canada")  
 dtbalctra("OGEMISS") cgdslack("ROW") gco2q("Brasil") gco2q("UE") gco2q("EUA")

```

gco2q("RMERC") gco2q("OANEX1") gco2q("RALCA") gco2q("Mexico")
gco2q("Canada") gco2q("OGEMISS") gco2q("ROW");
Rest Endogenous ;
swap gmarkco2t=MARKCTAX;

```

### **Cenário PQ1 –Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões do modelo**

```

! closure básico
exogenous
pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack tradslack ams atm atf ats atd
aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall afeall au
dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW_COMM,REG) MARKCTAX
dcwfd(NEGYCOM3,PROD_COMM,REG) dcwfd(COALS,COALS,REG)
dcwfd(OILS,OILEXS,REG) dcwfd(GASS,GASEXS,REG)
dcwfd(OIL_PCS,OIL_PCEXS,REG) dcwfi(NEGYCOM3,PROD_COMM,REG)
dcwfi(COALS,COALS,REG) dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)
dcwfi(OIL_PCS,OIL_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)
dcwpi(NEGYCOM3,REG) dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)
c_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B)

```

```

! closure específico para abatimento e comércio de emissões
! DTBALCTRA (incl. permit trading) exogenous for all regions except one,
! and cgdslack exogenous for that one region (which can be any one).
dtbalctra("Brasil") dtbalctra("EUA") dtbalctra("UE") dtbalctra("RMERC")
dtbalctra("OANEX1") dtbalctra("RALCA") dtbalctra("Mexico") dtbalctra("Canada")
dtbalctra("OGEMISS") cgdslack("ROW") gco2q("Brasil") gco2q("UE") gco2q("EUA")
gco2q("RMERC") gco2q("OANEX1") gco2q("RALCA") gco2q("Mexico")
gco2q("Canada") gco2q("OGEMISS") gco2q("ROW");
Rest Endogenous ;
swap gmarkco2t=MARKCTAX;

```

### **Cenário PQ2 –Protocolo de Quioto (sem a participação dos EUA) e Comércio de Emissões entre as regiões do Anexo1**

```

! closure básico
exogenous
pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack tradslack ams atm atf ats atd
aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall afeall au

```

dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW\_COMM,REG) RCTAX("Brasil")  
 RCTAX("RMERC") RCTAX("RALCA") RCTAX("OGEMISS") RCTAX("ROW")  
 RCTAX("Mexico") RCTAX("EUA") MARKCTAX  
 dcwfd(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG) dcwfd(COALS,COALS,REG)  
 dcwfd(OILS,OILEXS,REG) dcwfd(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfd(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwfi(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG)  
 dcwfi(COALS,COALS,REG) dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfi(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)  
 dcwpi(NEGYCOM3,REG) dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)  
 c\_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B)

! closure específico para abatimento e comércio de emissões  
 ! DTBALCTRA (incl. permit trading) exogenous for all regions except one,  
 ! and cgdslack exogenous for that one region (which can be any one).  
 dtbalctra("Brasil") dtbalctra("EUA") dtbalctra("UE") dtbalctra("RMERC")  
 dtbalctra("OANEX1") dtbalctra("RALCA") dtbalctra("Mexico") dtbalctra("Canada")  
 dtbalctra("OGEMISS") cgdslack("ROW") gco2q("UE") gco2q("OANEX1")  
 gco2q("Canada") ;

Rest Endogenous ;  
 swap gmarkco2t=MARKCTAX;

### Cenário PQ3 –Protocolo de Quioto sem Comércio de Emissões

! closure básico  
 exogenous  
 pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack tradslack ams atm atf ats atd  
 aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall afeall au  
 dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW\_COMM,REG) RCTAX  
 MARKCTAX dcwfd(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG) dcwfd(COALS,COALS,REG)  
 dcwfd(OILS,OILEXS,REG) dcwfd(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfd(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwfi(NEGYCOM3,PROD\_COMM,REG)  
 dcwfi(COALS,COALS,REG) dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)  
 dcwfi(OIL\_PCS,OIL\_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)  
 dcwpi(NEGYCOM3,REG) dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)  
 c\_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B)

! closure específico para abatimento de emissões  
 ! DTBALCTRA (incl. permit trading) exogenous for all regions except one,  
 ! and cgdslack exogenous for that one region (which can be any one).  
 dtbalctra("Brasil") dtbalctra("EUA") dtbalctra("UE") dtbalctra("RMERC")  
 dtbalctra("OANEX1") dtbalctra("RALCA") dtbalctra("Mexico") dtbalctra("Canada")  
 dtbalctra("OGEMISS") cgdslack("ROW") ;

Rest Endogenous ;

```
swap gco2t("UE")=RCTAX("UE") ;
swap gco2t("OANEX1")=RCTAX("OANEX1") ;
swap gco2t("Canada")=RCTAX("Canada") ;
swap gco2t("EUA")=RCTAX("EUA") ;
```

**Cenário PQ4 –Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões  
do modelo e 15% de redução para OGEMISS**

! closure básico

exogenous

```
pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack tradslack ams atm atf ats atd
aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall afeall au
dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW_COMM,REG) MARKCTAX
dcwfd(NEGYCOM3,PROD_COMM,REG) dcwfd(COALS,COALS,REG)
dcwfd(OILS,OILEXS,REG) dcwfd(GASS,GASEXS,REG)
dcwfd(OIL_PCS,OIL_PCEXS,REG) dcwfi(NEGYCOM3,PROD_COMM,REG)
dcwfi(COALS,COALS,REG) dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)
dcwfi(OIL_PCS,OIL_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)
dcwpi(NEGYCOM3,REG) dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)
c_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B)
```

! closure específico para abatimento e comércio de emissões

! DTBALCTRA (incl. permit trading) exogenous for all regions except one,

! and cgdslack exogenous for that one region (which can be any one).

```
dtbalctra("Brasil") dtbalctra("EUA") dtbalctra("UE") dtbalctra("RMERC")
dtbalctra("OANEX1") dtbalctra("RALCA") dtbalctra("Mexico") dtbalctra("Canada")
dtbalctra("OGEMISS") cgdslack("ROW") gco2q("Brasil") gco2q("UE") gco2q("EUA")
gco2q("RMERC") gco2q("OANEX1") gco2q("RALCA") gco2q("Mexico")
gco2q("Canada") gco2q("OGEMISS") gco2q("ROW");
```

Rest Endogenous ;

```
swap gmarkco2t=MARKCTAX;
```

**Cenário PQ5 –Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre as regiões do  
Anexo1**

```
! closure básico
exogenous
pop psaveslack pfactwld profitslack incomeslack endwslack tradslack ams atm atf ats atd
aosec aoreg avasec avareg aocom afsec afreg afecom afesec afereg aoall afall afeall au
dppriv dpgov dpsave to tp tm tms tx txs qo(ENDW_COMM,REG) RCTAX("Brasil")
RCTAX("RMERC") RCTAX("RALCA") RCTAX("OGEMISS") RCTAX("ROW")
RCTAX("Mexico") MARKCTAX dcwfd(NEGYCOM3,PROD_COMM,REG)
dcwfd(COALS,COALS,REG) dcwfd(OILS,OILEXS,REG)
dcwfd(GASS,GASEXS,REG) dcwfd(OIL_PCS,OIL_PCEXS,REG)
dcwfi(NEGYCOM3,PROD_COMM,REG) dcwfi(COALS,COALS,REG)
dcwfi(OILS,OILEXS,REG) dcwfi(GASS,GASEXS,REG)
dcwfi(OIL_PCS,OIL_PCEXS,REG) dcwpi(NEGYCOM3,REG)
dcwpi(NEGYCOM3,REG) dcwgd(NEGYCOM3,REG) dcwgi(NEGYCOM3,REG)
c_CTAXBAS(REG,NEGYCOM3B)
```

```
! closure específico para abatimento e comércio de emissões
! DTBALCTRA (incl. permit trading) exogenous for all regions except one,
! and cgdslack exogenous for that one region (which can be any one).
dtbalctra("Brasil") dtbalctra("EUA") dtbalctra("UE") dtbalctra("RMERC")
dtbalctra("OANEX1") dtbalctra("RALCA") dtbalctra("Mexico") dtbalctra("Canada")
dtbalctra("OGEMISS") cgdslack("ROW") gco2q("UE") gco2q("EUA")
gco2q("OANEX1") gco2q("Canada");
```

```
Rest Endogenous ;
swap gmarkco2t=MARKCTAX;
```

## ANEXO C

**Parte-Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões  
(porcentagem do ano base ou período) – Anexo B do Protocolo de Quioto**

Alemanha.....	92
Austrália.....	108
Áustria.....	92
Bélgica.....	92
Bulgária*.....	92
Canadá.....	94
Comunidade Européia.....	92
Croácia*.....	95
Dinamarca.....	92
Eslováquia*.....	92
Eslovênia*.....	92
Espanha.....	92
Estados Unidos da América.....	93
Estônia*.....	92
Federação Russa*.....	100
Finlândia.....	92
França.....	92
Grécia.....	92
Hungria*.....	94
Irlanda.....	92
Islândia.....	110
Itália.....	92
Japão.....	94
Letônia*.....	92
Liechtenstein.....	92
Lituânia*.....	92
Luxemburgo.....	92
Mônaco.....	92
Noruega.....	101
Nova Zelândia.....	100
Países Baixos.....	92
Polônia*.....	94
Portugal.....	92
Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte.....	92
República Tcheca*.....	92
Romênia*.....	92
Suécia.....	92
Suíça.....	92
Ucrânia*.....	100

\* Países em processo de transição para uma economia de mercado.

Fonte: Protocolo de Quioto.

**ANEXO D – Código das regiões do GTAP (versão 5.4)**

No.	Código	Descrição	No.	Código	Descrição
1	aus	Austrália	40	ita	Itália
2	nzl	Nova Zelândia	41	lux	Luxemburgo
3	chn	China	42	nld	Holanda
4	hkg	Hong Kong	43	prt	Portugal
5	jpn	Japão	44	esp	Espanha
6	kor	Coreia	45	swe	Suécia
7	twn	Taiwan	46	che	Suíça
8	idn	Indonésia	47	xef	Resto da Área do Euro
9	mys	Malásia	48	alb	Albânia
10	phl	Filipinas	49	bgr	Bulgária
11	sgp	Singapura	50	hrv	Croácia
12	tha	Tailândia	51	cze	Republica Checa
13	vnm	Vietnam	52	hun	Hungria
14	bgd	Bangladesh	53	mlt	Malta
15	ind	Índia	54	pol	Polônia
16	lka	Siri Lanka	55	rom	Romênia
17	xsa	Resto da Ásia do Sul	56	svk	Eslováquia
18	can	Canadá	57	svn	Eslovênia
19	usa	Estados Unidos	58	est	Estônia
20	mex	México	59	lva	Letônia
21	xcm	América Central e Caribe	60	ltu	Lituânia
22	col	Colômbia	61	rus	Federação Russa
23	per	Peru	62	xsu	Resto da Antiga URSS
24	ven	Venezuela	63	cyp	Chipre
25	xap	Resto do Pacto Andino	64	tur	Turquia
26	arg	Argentina	65	xme	Resto do Oriente Médio
27	bra	Brasil	66	mar	Marrocos
28	chl	Chile	67	xfn	Resto da África do Norte
29	ury	Uruguai	68	bwa	Botsuana
30	xsm	Rest da América do Sul	69	xsc	Resto da União África do Sul
31	aut	Áustria	70	mwi	Malawi
32	bel	Belgica	71	moz	Moçambique
33	dnk	Dinamarca	72	tza	Tanzânia
34	fin	Finlândia	73	zmb	Zâmbia
35	fra	França	74	zwe	Zimbabwe
36	deu	Alemanha	75	xsf	Outros da África do Sul
37	gbr	Reino Unido	76	uga	Uganda
38	grc	Grécia	77	xss	Resto da África Sub-Sahariana
39	irl	Irlanda	78	xrw	Resto do Mundo