UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

JONATHAN GONÇALVES DA SILVA

**Impactos econômicos de políticas de mitigação das mudanças climáticas na economia
brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável**

Orientador: Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel

RIBEIRÃO PRETO
2010

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Sigismundo Bialoskorski Neto
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Walter Belluzzo Júnior
Chefe do Departamento de Economia

JONATHAN GONÇALVES DA SILVA

Impactos econômicos de políticas de mitigação das mudanças climáticas na economia brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel

RIBEIRÃO PRETO
2010

ERRATA

SILVA, J. G. da. **Impactos econômicos de políticas de mitigação das mudanças climáticas na economia brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável/dissertação**. 2010. 128 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

Página: 16 **Linha:** 10

Onde se lê: O Comércio de Emissões, como estabelecido no Artigo 17 do Protocolo de Quioto, permite que países que tenham unidades de emissão a eles atribuídas, mas não utilizadas, vendam essa capacidade excedente a países cujas emissões ultrapassam suas metas. Dessa forma, uma nova *commodity* foi criada na forma de reduções ou remoções de emissões. Esse mercado também é conhecido como “mercado de carbono” (FRONDIZI, 2009, p.99).

Leia-se: O comércio de emissões de acordo com o Protocolo de Quioto:

[...] permite que países que tenham unidades de emissão a eles atribuídas, mas não utilizadas, vendam essa capacidade excedente a países cujas emissões ultrapassam suas metas. Dessa forma, uma nova *commodity* foi criada na forma de reduções ou remoções de emissões. Esse mercado também é conhecido como “mercado de carbono” (*apud* FRONDIZI, 2009, p.99).

Página: 5 (agradecimentos) **Linha:** 12

Onde se lê: Ao Prof. Eduardo Amaral Haddad, por ter viabilizado o auxílio financeiro através da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI) do CNPq, que permitiu minha dedicação integral ao mestrado.

Leia-se: Ao Prof. Eduardo Amaral Haddad e à Rede Clima, por terem viabilizado o auxílio financeiro através da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI) do CNPq, que permitiu minha dedicação integral ao mestrado.

A ilustração correta é:

Tabela 7 – Choques implementados de redução nas emissões de GEEs em relação a um cenário de referência sem redução de emissões (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	3,00	6,10	9,15	12,2	15,25	18,30	21,35	24,40
Pecuária	3,00	6,10	9,15	12,2	15,25	18,30	21,35	24,40
Silvicultura	3,00	6,10	9,15	12,2	15,25	18,30	21,35	24,40
Desmatamento	14,00	27,00	40,00	53,00	66,00	79,00	92,00	99,90
Ind. de Alimentos	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Produção de carvão	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Petróleo	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Refino de petróleo	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Gás	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Eletricidade	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Set. intens. energia	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Outras ind.	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Serviços	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80
Transportes	3,40	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80

Fonte: Dados da pesquisa

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Jonathan Gonçalves da

Impactos econômicos de políticas de mudança climática na economia brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. Ribeirão Preto, 2010.

128 p. : il. ; 30cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Economia Aplicada.

Orientador: Gurgel, Angelo Costa.

1. Equilíbrio Geral Computável. 2. Políticas de Mitigação. 3. Gases de Efeito Estufa.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Jonathan Gonçalves da Silva

Impactos econômicos de políticas de
mitigação das mudanças climáticas na
economia brasileira: um estudo a partir de um
modelo de equilíbrio geral computável

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade
de Economia, Administração e Contabilidade de
Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Aprovado em: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel _____ Instituição: FEARP/USP _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura _____

Prof. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Dedico esta dissertação à minha
família, pelo carinho e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus, pois sem Ele nada seria possível (porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas).

Agradeço aos meus pais pelo apoio, pelo ânimo nos momentos difíceis, por sonharem comigo não permitindo que em momento algum eu desistisse dos meus objetivos. Às minhas irmãs pelo carinho e pelo incentivo mesmo à distância.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Angelo Costa Gurgel, pela paciência, empenho e generosidade durante estes anos de mestrado. Muito obrigado professor, sem seu apoio esta dissertação não seria possível.

Ao Prof. Eduardo Amaral Haddad, por ter viabilizado o auxílio financeiro através da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI) do CNPq, que permitiu minha dedicação integral ao mestrado.

Obrigado aos funcionários e professores do Departamento de Economia da FEA-RP/USP, pela cordialidade e dedicação que me proporcionaram o suporte necessário para a conclusão deste trabalho.

Sou grato a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho.

RESUMO

SILVA, J. G. **Impactos econômicos de políticas de mitigação das mudanças climáticas na economia brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável.** 2010. 128 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

O objetivo desta dissertação é estimar os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. Mais especificamente, pretende-se através de um modelo de equilíbrio geral computável verificar como algumas variáveis econômicas respondem à simulação de algumas políticas de mitigação de mudanças climáticas por parte do Brasil. Para tal propósito, utilizou-se o modelo *Emissions Prediction and Policy Analysis* – EPPA do MIT, o qual é um modelo dinâmico-recursivo, multi-regional que representa a economia mundial. Os principais resultados revelaram que a introdução de metas de redução de emissões a partir de 2015, possibilita uma redução expressiva das emissões de GEEs do país, com destaque para a redução proveniente de desmatamento. Quanto ao nível de atividade econômica verificou-se que o sacrifício a ser realizado em termos de perdas do PIB não se mostrou expressivo, o que pode ser explicado por uma matriz energética intensiva em fontes de energia “limpa”. Em termos de bem-estar, observou-se que a inclusão de metas de redução do desmatamento, como as representadas pela política CP1 trouxeram perdas modestas em bem-estar para o Brasil, ou seja, o esforço no sentido de enquadramento com as metas de Copenhague é benéfico, pois as perdas de bem-estar serão relativamente pequenas, caso o país continue o ritmo de redução em emissões previsto para 2020.

Palavras-chave: GEEs, políticas de mitigação, economia.

ABSTRACT

SILVA, J. G. Economic impacts of policies on climate change mitigation in the Brazilian economy: a study based on a computable general equilibrium model. 2010. 128 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

The objective of this dissertation is to estimate the economic impacts of climate policy scenarios for Brazil. More specifically, it is intended through a computable general equilibrium model to see how some economic variables respond to the simulation of some policies to mitigate climate change by Brazil. For this purpose, it was used the Emissions Prediction and Policy Analysis model – EPPA, from the MIT, which is a dynamic-recursive model, multi-regional that represents the world economy. The results reveal that the introduction of the targets for reducing emissions from 2015, allows an expressive reduction of GHG emissions in the country, notably the reduction from deforestation. Regarding the level of economic activity showed that the sacrifice being made in terms of GDP loss was not significant, which can be explained by an energy-intensive sources of clean energy. In terms of welfare, it was observed that the inclusion of the targets for reducing deforestation, such as those represented by the policy CP1 brought modest losses in welfare for Brazil, namely the effort to frame the goals of Copenhagen is beneficial, because the loss of welfare will be relatively small if the country can continue the pace of reduction in emissions in 2020.

Key-words: GHG, mitigation policies, economics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Agregações utilizadas pelo modelo EPPA.....	46
Tabela 2 – Elasticidades de substituição do modelo EPPA.....	47
Tabela 3 – Valores de referência das elasticidades finais de demanda.....	52
Tabela 4 – Cobertura e uso do solo por regiões do EPPA (em Milhões de ha).....	55
Tabela 5 – Fluxos de renda da terra por hectare e região (1997 US\$/ha).....	57
Tabela 6 – Parâmetros para modelar o uso da terra e funções de transformação.....	58
Tabela 7 – Choques implementados de redução nas emissões de GEEs em relação a um cenário de referência sem redução em emissões (%).....	62
Tabela 8 – Variação das emissões de GEEs no cenário CP1 em relação ao CR (em %).....	65
Tabela 9 – Variação das emissões de GEEs no cenário CP2 em relação ao CR (em %).....	67
Tabela 10 – Imposto sobre o carbono com a política CP1 (em US\$/ton. de CO ₂).....	69
Tabela 11 – Variação dos preços de oferta doméstica no cenário de política CP1 em relação ao CR (em %).....	71
Tabela 12 – Variação da produção com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).....	73
Tabela 13 – Variação em áreas (mil ha) com a introdução de CP1 em relação ao CR.....	76
Tabela 14 – Variação em áreas (mil ha) com a introdução de CP2 em relação ao CR.....	78
Tabela 15 – Variação das importações brasileiras com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).....	79
Tabela 16 - Variação das exportações brasileiras com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).....	79
Tabela 17 – Variação da produção de energia com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).....	81
Tabela 18 - PIB brasileiro em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.....	84
Tabela 19 – Análise de sensibilidade sobre os impactos em bem-estar para o Brasil (%).....	107
Tabela 20 – Análise de sensibilidade dos impactos sobre o PIB do Brasil (%).....	108
Tabela 21 – Análise de sensibilidade dos impactos sobre as emissões nacionais totais de GEEs (%).....	109
Tabela 22 – Análise de sensibilidade dos impactos sobre a participação nacional nas emissões mundiais de GEEs (%).....	110
Tabela 23 – Emissões totais de GEEs no cenário de referência (mmt de CO ₂ eq.).....	111

Tabela 24 – Emissões totais de GEEs com a introdução de CP1 (mmt de CO ₂ eq.).....	112
Tabela 25 – Emissões totais de GEEs com a introdução de CP2 (mmt de CO ₂ eq.).....	113
Tabela 26 – Variação das emissões de GEEs com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %)......	114
Tabela 27 – Participação das emissões setoriais no CR (em %)......	115
Tabela 28 – Participação das emissões setoriais com a introdução de CP1 (em %)......	116
Tabela 29 – Participação das emissões setoriais com a introdução de CP2 (em %)......	117
Tabela 30 – Imposto ao carbono com a introdução da política CP2.....	118
Tabela 31 – Variação dos preços de oferta doméstica com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %)......	118
Tabela 32 – Variação da produção com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %)......	119
Tabela 33 – Variação da produção de energia com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %)......	119
Tabela 34 – Variação da produção de energia elétrica com CP1 e relação ao CR (em %)......	119
Tabela 35 – Variação da produção de energia elétrica com CP2 em relação ao CR (em %)......	120
Tabela 36 – Variação da demanda de energia com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %)......	120
Tabela 37 – Variação da demanda de energia com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %)......	120
Tabela 38 – Gastos do governo em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.....	121
Tabela 39 – Investimento em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.....	121
Tabela 40 – Consumo em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.....	122
Tabela 41 – Exportações líquidas em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.....	122
Tabela 42 – Demanda final energética segundo o Ministério de Minas e Energia de 2004 a 2030 (em EJ)......	123
Tabela 43 – Demanda energética segundo o EPPA de 2004 a 2030 (em EJ)......	123
Tabela 44 – Demanda final energética segundo o Ministério de Minas e Energia de 2004 a 2030 (em EJ)......	124
Tabela 45 – Demanda final energética segundo o EPPA de 2004 a 2030 (em EJ)......	124
Tabela 46 – Oferta interna de energia segundo o Ministério de Minas e Energia de 2004 a 2030 (em EJ)......	125

Tabela 47 – Oferta interna de energia segundo o EPPA de 2004 a 2030 (em EJ).....125

Tabela 48 – Projetos de MDL no Brasil em 2010.....128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Anomalias da temperatura global de 1850-2006 em graus Celsius (em relação à média de 1961-1990).....	14
Figura 2 – Emissões brasileiras de gases de efeito estufa por setor em Gg CO ₂ eq – 2005.....	18
Figura 3 – Sistema global de modelagem integrada MIT.....	36
Figura 4 – O fluxo circular de bens e recursos no EPPA.....	38
Figura 5 – Estrutura aninhada dos setores de serviços, transportes, intensivos em energia e outras indústrias.....	48
Figura 6 – Estrutura aninhada da agricultura.....	49
Figura 7 – Estrutura aninhada do setor de eletricidade.....	50
Figura 8 – Estrutura aninhada do consumo das famílias.....	51
Figura 9 – Estrutura das funções de conversão do uso da terra.....	54
Figura 10 – Emissões totais de gases de efeito estufa.....	64
Figura 11 – Participação do Brasil nas emissões mundiais de GEEs.....	68
Figura 12 – Imposto sobre carbono do desmatamento.....	70
Figura 13 – Produção de etanol no Brasil (em milhões de litros).....	75
Figura 14 – Variação da demanda de energia por fonte com CP1 em relação ao CR (em).....	82
Figura 15 – Variação da produção de energia elétrica com CP1 em relação ao CR (em %).....	83
Figura 16 – Variação do consumo em relação ao CR (em %).....	85
Figura 17 – Variação dos investimentos em relação ao CR (em %).....	86
Figura 18 – Variação dos gastos do governo em relação ao CR (em %).....	87
Figura 19 – Variação das exportações líquidas em relação ao CR (em %).....	87
Figura 20 – Variação do bem-estar em relação ao CR (em %).....	88
Figura 21 – Participação dos projetos na redução das emissões de GEEs em 2010.....	128

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Aspectos Teóricos.....	24
2.2 Modelos de Equilíbrio Geral Computável e Mudanças Climáticas.....	29
3 METODOLOGIA	35
3.1 O Modelo EPPA	36
3.2 A Estrutura dos Modelos EGC	38
3.3 Estrutura de Equilíbrio do Modelo	39
3.4 Preparação dos Dados	45
3.5 Produção	47
3.6 Consumo	51
3.7 Mudanças no Uso da Terra e Florestas	53
3.8 Implementação de Políticas	58
3.9 Fechamento do Modelo.....	60
4 POLÍTICAS, SIMULAÇÕES E RESULTADOS.....	61
4.1 Cenários de Políticas Climáticas.....	61
4.2 Resultados	63
4.3 Comparações dos Resultados.....	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
APÊNDICE A – FORMULAÇÃO ALGÉBRICA DO MODELO.....	102
APÊNDICE B – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	107
APÊNDICE C – RESULTADOS DO MODELO EPPA.....	111
ANEXO A – PARTES DA CQNUMC.....	126
ANEXO B – PROJETOS BRASILEIROS DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO.....	128

1. INTRODUÇÃO

As ações decorrentes de atividades econômicas e industriais têm gerado uma alteração na composição da atmosfera, que por sua vez, tem contribuído com a intensificação das mudanças climáticas verificadas nos últimos anos.

De acordo com o relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima¹(*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2007a*), entre 1970 e 2004, as emissões globais de gases de efeito estufa (GEEs), ponderadas pelo seu potencial de aquecimento global, aumentaram 70% (24% entre 1990 e 2004). O maior aumento das emissões globais de GEEs se deu no setor de oferta de energia (um aumento de 145%). Enquanto que no mesmo período as emissões diretas dos transportes, da indústria e das mudanças no uso da terra e florestas aumentaram 120%, 65% e 40%, respectivamente.

Apesar de não ser possível prever com certeza as consequências das mudanças climáticas, já é possível compreender os riscos envolvidos com as informações técnicas, científicas e sócio-econômicas disponíveis. Com a intensificação das emissões antrópicas espera-se que a resiliência de muitos ecossistemas seja superada por uma combinação sem precedentes de efeitos climáticos adversos ao redor do planeta, dentre os quais se destacam a elevação das temperaturas médias da superfície terrestre, como pode ser visto na Figura 1, o derretimento anormal do gelo em certas regiões do planeta, a elevação do nível do mar, entre outros.

¹ O IPCC é o organismo de revisão da produção científica relativa à mudança global do clima e com atividade relacionada à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

Figura 1 – Anomalias da temperatura global de 1850-2006 em graus Celsius (em relação à média de 1961-1990).

Fonte: Jones, P. D. *et al.* (2010). Elaboração própria.

De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (2009), os impactos das mudanças do clima sobre a saúde podem ser sentidos de diversas maneiras. Por um lado, ocorrem impactos de forma direta, como no caso das ondas de calor, ou mortes causadas por outros eventos extremos. Outras vezes, esses impactos podem ser indiretos, sendo mediados por alterações no ambiente como a alteração de ecossistemas. Assim, as elevações da temperatura podem, por exemplo, afetar a distribuição de alguns vetores de doenças infecciosas e endêmicas, como a malária, dengue e febre amarela, bem como afetar a produção agrícola prejudicando o abastecimento e a segurança alimentar.

A produção de alimentos pode ser afetada consideravelmente, pois, de acordo com as previsões do IPCC² o potencial de produção se elevará com um aumento da temperatura média local de 1 a 3°C, mas poderá diminuir para valores acima dessa faixa. Projeta-se ainda, que os aumentos na frequência de secas e inundações afetem negativamente a produção agrícola local, principalmente nos setores de subsistência nas latitudes mais baixas. Para o Brasil, um estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2008) indica que o aumento das temperaturas em decorrência do aquecimento global pode provocar perdas nas safras de grãos da ordem de R\$ 7,4 bilhões já em 2020 (número que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070) e dessa forma, alterar consideravelmente a geografia da produção agrícola no Brasil.

² Para maiores detalhes ver IPCC (2007b).

Neste contexto, não apenas a geografia do setor agrícola pode ser alterada, mas também a industrial, populacional e social, uma vez que, muitos dos assentamentos humanos estão localizados em planícies de inundação costeira e de rios (normalmente áreas de rápida urbanização), ou seja, áreas propensas a eventos climáticos extremos.

A intensificação da ocorrência de eventos climáticos extremos (chuvas intensas, vendavais e furacões, marés meteorológicas e grandes secas) surge como um desafio para as autoridades e demais gestores públicos em decorrência do poder de destruição e maior impacto econômico e social destes eventos. Assim, à intensidade desses eventos soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com exatidão.

Até mesmo países que estão na dianteira das pesquisas espaciais com avançados centros de pesquisa e modernos sistemas de alerta a eventos climáticos extremos têm se mostrado pouco ágeis na adoção de medidas que amenizem as consequências de tais eventos sobre suas populações. Este é o caso dos Estados Unidos, que sofreram 70 desastres relacionados ao clima nos últimos 27 anos. Destes desastres, 61 ocorreram durante o período de 1988-2006 com custos superiores a US\$ 430 bilhões (LOTT; ROSS, 2007).

O Brasil não está imune às consequências das alterações climáticas. Em 2004 o furacão Catarina (primeiro registrado no Atlântico Sul) atingiu a costa brasileira, provocando enchentes e deslizamentos de terra, com perdas estimadas em US\$ 1 milhão. Outro exemplo foram as fortes chuvas que atingiram o estado de Santa Catarina em 2008, afetando mais de 1,5 milhões de pessoas. Estimativas apontam que os prejuízos causados pelas chuvas de 2008 ultrapassaram os US\$ 350 milhões (MARENGO, 2009).

Como consequência, as questões relativas às mudanças do clima, bem como formas de atenuar seus impactos sobre ecossistemas, sociedades e economias, passam a ocupar um espaço cada vez maior nas discussões internacionais, com a elaboração de políticas e até mesmo implementação destas por parte de empresas, estados e países. Um dos marcos dessas discussões foi a “Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Humano e Meio Ambiente”, realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro, em que diversas nações se comprometeram a reduzir suas emissões.

O ano de 1997 pode ser considerado outro marco nas discussões sobre mudanças do clima, em decorrência do encontro ocorrido em Quioto no Japão, em que foi adotado um protocolo à Convenção sobre Mudança do Clima, chamado de Protocolo de Quioto, que estabeleceu compromissos quantificados para os países industrializados de redução ou limitação das emissões antrópicas combinadas de GEEs.

No âmbito do Protocolo de Quioto foram criados os seguintes mecanismos de flexibilização:

- i. Comércio de Emissões (*Emissions Trading* – ET);
- ii. Implementação Conjunta (*Joint Implementation* – JI);
- iii. Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Tais mecanismos têm por objetivo reduzir os níveis de emissões dos países industrializados em pelo menos 5% abaixo dos níveis de 1990 no período de compromisso de 2008 a 2012, bem como fomentar o desenvolvimento de políticas de redução de emissões dos GEEs nos países em desenvolvimento.

O Comércio de Emissões, como estabelecido no Artigo 17 do Protocolo de Quioto, permite que países que tenham unidades de emissão a eles atribuídas, mas não utilizadas, vendam essa capacidade excedente a países cujas emissões ultrapassam suas metas. Dessa forma, uma nova *commodity* foi criada na forma de reduções ou remoções de emissões. Esse mercado também é conhecido como “mercado de carbono” (FRONDIZI, 2009, p.99).

A Implementação Conjunta foi um mecanismo proposto pelos Estados Unidos e aplica-se exclusivamente às Partes do Anexo I³. De acordo com as diretrizes do Protocolo de Quioto, qualquer Parte incluída no Anexo I pode transferir para, ou adquirir de qualquer outra Parte, unidades de redução de emissões resultantes de projetos visando à redução das emissões antrópicas por suas fontes, ou o aumento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa em qualquer setor da economia.

Já o MDL, é o mecanismo de flexibilização que tem por objetivo assistir as Partes (países) não constantes no Anexo I da Convenção do Clima, ou seja, países em desenvolvimento. Através desse mecanismo, um país que faz parte do Anexo I e que não conseguiu atingir sua meta de redução de emissões compromissada, pode comprar Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) de outros países a fim de atingir sua meta. Nesse contexto de comércio de emissões, destacam-se a experiência norte-americana com os mercados de controle da emissão de diversos gases na década de 1970, conhecidos hoje como *Emissions Trading Program*, e os mercados domésticos de comercialização de RCEs da Noruega, Austrália, Canadá e Reino Unido (Rocha, 2003).

Os Estados Unidos apesar de participarem de forma tumultuada nas negociações do Protocolo de Quioto, despontam como uma referência quando se trata de legislações ambientais e climáticas. Isso se deve principalmente à posição de vanguarda dos estados da

³ A lista dos países que fazem parte do Anexo I e não-Anexo I encontra-se no Anexo A.

Califórnia e da Nova Inglaterra⁴. Estes foram os pioneiros na adoção de uma série de dispositivos legais de combate às mudanças climáticas, que agora sob a gestão Obama começa a ter alcance nacional. A Califórnia, por exemplo, estabeleceu o primeiro programa de mecanismos regulatórios e de mercado para redução de GEEs do mundo, o *California Global Warming Solutions Act of 2006*⁵. Este programa trata de temas como sequestro de carbono, eficiência no uso da água em propriedades públicas, energia solar térmica, frota estatal e combustíveis alternativos. Assim, com as regulamentações adotadas desde 2006, a Califórnia pretende alcançar os níveis de emissões do ano de 2000 ainda em 2010, posteriormente os níveis de 1990 até 2020 e por fim, os níveis de 1990 reduzidos em 80% até 2050.

Os estados da Nova Inglaterra também avançaram com a criação de leis e políticas estaduais de mudanças climáticas. De uma forma geral, estes estados se comprometeram a reduzir suas emissões em 10% abaixo dos níveis de 1990 até 2020. Atualmente, já são 23 os estados americanos com metas de redução de emissões, número que ainda pode crescer consideravelmente.

No Brasil, diversos estados já aprovaram suas políticas estaduais de mudanças climáticas como o estado do Amazonas em 2007, Tocantins em 2008, Santa Catarina, Minas Gerais e São Paulo em 2009, enquanto outros estão em vias de fazê-lo. Porém, a única lei estadual com metas de redução de emissões é a do estado de São Paulo, que prevê redução de 20% das emissões de gás carbônico (CO₂) até 2020 em relação aos níveis de 2005. Já o município de São Paulo, foi o pioneiro entre os municípios ao assumir o compromisso de reduzir em 30% suas emissões de GEEs até 2012. A partir de então, outros municípios têm seguido o exemplo de São Paulo, como é o caso do Rio de Janeiro, que pretende reduzir em 8% suas emissões de GEEs até 2012 e estabelecer um novo indicativo de 16% para 2016 e outro de 20% para 2020 (LIMA, 2010).

Assim, tendo em vista o empenho de cidades, estados e países para encontrar alternativas de redução das emissões dos GEEs e amenização de seus efeitos negativos sobre os ecossistemas, economias e sociedades, as responsabilidades das Partes foram consideradas e suas possíveis contribuições estão sendo avaliadas, a fim de que medidas adequadas sejam tomadas no sentido de reverter o quadro de emissões que tem sido associado a eventos climáticos extremos e futuros aumentos na temperatura média da superfície terrestre. A

⁴ Connecticut, New Hampshire, Maine, Massachusetts, Rhode Island e Vermont.

⁵ STATE OF CALIFORNIA. *Assembly Bill 32*, de 2006. Disponível em:

<<http://www.arb.ca.gov/cc/docs/ab32text.pdf>>. Acesso em 4 de julho de 2010.

princípio, verificam-se diferentes desafios e oportunidades às Partes envolvidas, como: a criação de mercados de carbono e sua consolidação onde estes já existem, mudança das matrizes energéticas nacionais, imposição de tributos sobre as emissões, estímulo aos países que não fazem parte do Anexo I e à iniciativa privada no sentido da adoção de projetos eficientes no uso de energia, e redução das emissões oriundas do uso da terra e de mudanças do uso desta.

Diniz (2007) ressalta o papel singular do Brasil neste cenário, principalmente em relação às suas emissões de GEEs, pois, ao considerar as emissões relacionadas às mudanças do uso da terra e florestas (desmatamento, queimadas e abertura de pastos em áreas antes de florestas), o Brasil salta da vigésima para a sexta posição no ranking dos países emissores.

Esse perfil singular das emissões brasileiras pode ser explicado pela disponibilidade de grandes extensões de terras e contínua expansão da agricultura para uso no cultivo e pastagens, permitindo que essas atividades se tornassem setores de grande importância para o crescimento econômico do país. De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (CEPEA/Esalq-USP, 2010) a composição do PIB de 1994 a 2008 corrobora este fato, uma vez que o agronegócio responde em média por 27,90% do PIB nacional. Assim, o grande dinamismo desses setores demandando novas áreas, pressiona para a conversão de mais terras nativas, contribuindo para que a mudança do uso da terra seja a principal fonte de emissões de GEEs do país, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Emissões brasileiras de gases de efeito estufa por setor em Gg CO₂eq – 2005.

Fonte: Brasil (2009b). Elaboração própria.

Destarte, as mudanças no uso da terra e em florestas respondem sozinhos por mais da metade das emissões de GEEs do Brasil. De acordo com o Banco Mundial (2010), das

emissões deste setor, cerca de dois terços resultam do desmatamento, sendo o restante originário da produção agrícola e da pecuária. Deve-se destacar ainda, que os biomas brasileiros que mais contribuíram com as emissões relacionadas às mudanças do uso da terra e florestas foram o Cerrado e a Amazônia, com taxas de emissões no período de 1990-2005 de 101% e 74%, respectivamente⁶.

Entre 2002 e 2008 o bioma Cerrado perdeu 7,5% de sua cobertura vegetal remanescente, indicando uma taxa média anual efetiva de desmatamento da ordem de 0,69% ao ano. Já na região da Amazônia Legal as taxas de desmatamento mostram uma tendência de redução nos últimos quatro anos (42% de redução no biênio 2008-2009), embora a área total desmatada no período 2003-2008 seja ainda elevada, cerca de 110 mil km² (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2009). Tais dados vêm de encontro com algumas tendências históricas de contínua conversão de áreas de florestas nativas no Brasil.

As emissões relacionadas às mudanças no uso do solo e florestas, além de colocar o Brasil no grupo dos principais emissores mundiais de GEEs, geram a necessidade de se encontrar novas soluções para os desafios climáticos impostos, levando em consideração o princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, no sentido de não prejudicar o desenvolvimento econômico brasileiro. Nesse ínterim, diversas alternativas têm emergido nos debates internacionais, sendo uma delas o mecanismo de redução das emissões do desmatamento e da degradação florestal (*Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation* – REDD), que se tornou um importante mecanismo de mitigação.

O conceito de REDD baseia-se no pressuposto de que as florestas somente contribuirão para a mitigação da mudança climática se seu valor alcançar um nível que torne a proteção das mesmas compatível com estratégias viáveis de desenvolvimento. Atualmente o conceito se ampliou, considerando a conservação, o manejo sustentável de florestas e o fortalecimento dos estoques de carbono florestal (REDD-plus). Segundo Zarin (2009), por ser um dos maiores países tropicais do mundo, concentrando 30% da floresta tropical remanescente no planeta, o Brasil já está sendo beneficiado por este mecanismo, uma vez que recebeu a doação de 700 milhões de coroas do governo da Noruega em 2009.

Assim, um grande volume de recursos está sendo destinado ao financiamento de políticas de mitigação e adaptação, como o que ficou estabelecido na Conferência das Partes (COP-15) realizada em Copenhague na Dinamarca no final de 2009, onde os países desenvolvidos se comprometeram em aportar US\$ 30 bilhões entre 2010 e 2012 para países

⁶ Para maiores detalhes ver Brasil (2009b).

em desenvolvimento. Com foco em mitigação, os países desenvolvidos se comprometeram ainda a financiar US\$ 100 bilhões por ano até 2020. De forma geral, os resultados das negociações na COP-15 ficaram muito aquém do esperado, com países em desenvolvimento exigindo metas mais ambiciosas de redução de emissões para os países do Anexo I, enquanto estes defendiam que o avanço em relação a metas agregadas e individuais necessitaria o envolvimento dos Estados Unidos e dos principais países em desenvolvimento.

Apesar dos resultados modestos em relação à grande expectativa criada em torno da COP-15, o compromisso voluntário de redução das emissões de GEEs apresentado pelo Brasil pode ser considerado um dos aspectos positivos da Conferência, o que pode servir de exemplo para outros países em desenvolvimento. A meta brasileira é reduzir as emissões de GEEs de 36,1% a 38,9% até 2020 em relação ao que poluiria se nada fosse feito. A redução está dividida em quatro grandes grupos: uso da terra, especialmente o controle do desmatamento (24,7% até 2020), agropecuária (4,9% a 6,1%), energia (6,1% a 7,7%) e siderurgia (0,3% a 0,4%).

Contudo, diversos fatores podem influenciar o êxito brasileiro no cumprimento de tais metas, como a descoberta de grandes reservas petrolíferas na camada pré-sal que pode fazer do Brasil um grande produtor e exportador de petróleo e, portanto, um grande emissor de GEEs. Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2009a) os volumes divulgados indicam reservas da ordem de 10,6 a 16 bilhões de barris de óleo equivalente em apenas três das descobertas anunciadas: Tupi (5 a 8 bilhões), Iara (3 a 4 bilhões), Guará (1,1 a 2 bilhões) e Parque das Baleias (1,5 a 2 bilhões). Atualmente, as reservas brasileiras são de aproximadamente 14 bilhões de barris de óleo equivalente. Assim, o petróleo do pré-sal posicionará o Brasil entre os dez países com as maiores reservas de petróleo e gás natural do mundo⁷. Viola (2009) destaca a necessidade de se vincular a descoberta dessas novas reservas de petróleo com a questão da transição para uma economia de baixo carbono, que leve em conta os avanços obtidos em relação ao etanol. Ainda, a exploração de petróleo precisa ser feita com tecnologia de ponta que inclua a captura e o sequestro de carbono.

Além da descoberta do petróleo da camada pré-sal, outro fator de grande importância para que o Brasil cumpra suas metas de redução de emissões são os projetos de MDL. Estes podem atuar como uma ferramenta chave na captação de recursos destinados às políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, uma vez que, só na COP-15, ficou definido que os países desenvolvidos destinariam US\$ 130 bilhões para financiamento de tais políticas.

⁷ Segundo o Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI, 2008), juntos, os campos de Tupi e Pão de Açúcar adicionariam de 38 a 43 bilhões de barris às reservas brasileiras de petróleo.

O Brasil pode tirar vantagem deste mecanismo de flexibilização, uma vez que apresenta um grande potencial de exportação de créditos de carbono⁸, pois ocupa a terceira posição em número de projetos de MDL em atividade, com 443 projetos (7%), só perdendo para a China com 2.210 projetos (37%) e para a Índia com 1.592 projetos (27%) (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC, 2010).

Outro aspecto de grande relevância está relacionado ao mercado de biocombustíveis brasileiro. O Brasil possui o exemplo mais bem sucedido na produção de biocombustíveis, o que pode ser explicado por anos de pesquisa desde o lançamento do Proálcool em 1975. Hoje, a produção de fontes renováveis de energia faz do Brasil uma referência internacional no uso de bioenergia. Segundo o Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2010a), a utilização de bioenergia representa 20,5% da matriz energética de transportes brasileira, enquanto nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e demais países essa participação é de apenas 1,9% e 0,2%, respectivamente. Ainda, entre janeiro e setembro de 2010, a produção de biodiesel atingiu 1.781 milhões de litros, contra 1.135 milhões de litros no mesmo período de 2009, um aumento de 57%. Dessa forma, o papel estratégico deste mercado deve ser considerado no sentido de se atingir as metas voluntárias apresentadas na COP-15, bem como por ser uma importante fonte de recursos para a economia brasileira.

Rocha (2003) destaca a pressão exercida pela comunidade internacional sobre o Brasil a fim de que este assumisse metas voluntárias de redução da emissão de GEEs, o que veio a se concretizar no final de 2009. Porém, os impactos de tais compromissos sobre a economia brasileira ainda são controversos em decorrência dos diversos fatores que podem interferir no êxito brasileiro em reduzir suas emissões, como destacado anteriormente. Assim, os compromissos firmados no âmbito do Acordo de Copenhague podem repercutir sobre a economia brasileira de diversas formas: pela redução do nível de atividade de determinados setores, pelo recebimento de recursos destinados a implementação de projetos de MDL, pela realocação de fatores intra e entre setores, pela adoção por parte das empresas de programas de eficiência energética e de captura de carbono visando à redução de custos ou puramente por estratégia de marketing, entre outros.

Com isso, surgem os seguintes questionamentos: quais os impactos econômicos do Brasil adotar políticas de redução de gases do efeito estufa? Como o Brasil pode reduzir os efeitos negativos da adoção dessas políticas sobre sua economia?

⁸ Para maiores informações sobre os projetos brasileiros de MDL, ver o Anexo B.

Com o intuito de investigar essas questões torna-se útil a modelagem da economia brasileira, levando em consideração as questões relacionadas às mudanças climáticas. Embora existam trabalhos que tenham feito este esforço como: Rocha (2003), Lopes (2003); Tourinho, Motta e Alves (2003), entre outros, poucos são os que avaliam de forma quantitativa os impactos sobre a economia brasileira da adoção de políticas de redução das emissões dos GEEs. Ainda, a maior parte desses trabalhos utiliza modelos estáticos modificados para incorporar questões ambientais. Com isso, surge espaço para abordagens mais avançadas ou mesmo alternativas para o caso brasileiro. Dessa forma, esta dissertação faz um esforço para desenvolver um estudo quantitativo que leve em consideração especificidades brasileiras como: uma matriz energética com grande participação de fontes de energia renováveis; os principais setores emissores de GEEs; as emissões relacionadas às mudanças do uso da terra; os custos de políticas de redução das emissões; e a consideração de outros países e seus relacionamentos com o Brasil através dos mercados globais, entre outros. Pretende-se abordar essas questões através de um modelo de equilíbrio geral dinâmico, criado para estimar as emissões de GEEs e avaliar políticas ambientais. Espera-se com isso contribuir para as discussões relacionadas à contribuição brasileira para o enfrentamento do problema climático.

1.1 Objetivos

Diante das questões desenvolvidas anteriormente, esta dissertação tem por objetivo estimar os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. Mais especificamente, pretende-se utilizar um modelo aplicado de equilíbrio geral, incorporando as especificidades da economia brasileira, para verificar como algumas variáveis econômicas respondem à simulação de algumas políticas de mitigação de mudanças climáticas por parte do Brasil.

Para tal propósito, será utilizado um modelo aplicado de equilíbrio geral, o *Emissions Prediction and Policy Analysis* – EPPA, do *Joint Program on the Science and Policy of Global Change* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) (PALTSEV *et al.*, 2005). O EPPA é um modelo dinâmico-recursivo, multi-regional que representa a economia mundial e que possibilita apontar os impactos econômicos, em termos qualitativos e quantitativos, da adoção ou não de políticas de redução dos GEEs sobre as economias representadas. O uso do

modelo para simulação de políticas de mitigação de mudanças climáticas pelo Brasil deve permitir avaliar se tais políticas justificam os esforços no sentido do enquadramento com os compromettimentos do Brasil em Copenhague, no sentido de uma análise de custo-efetividade das políticas em questão.

Destarte, esta dissertação irá abordar os impactos econômicos da adoção de políticas de redução de GEEs pelo Brasil. As medidas de redução dos GEEs serão discutidas através de cenários com e sem adoção de políticas de mitigação das mudanças climáticas e suas consequências sobre a economia brasileira.

Para alcançar o objetivo proposto, este trabalho está dividido da seguinte forma, além desta introdução que inclui a problemática, as motivações e objetivos: o segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre alguns dos principais exercícios quantitativos utilizados na análise de questões relativas às mudanças climáticas; o terceiro capítulo apresenta a metodologia empregada pelo trabalho, no caso, o modelo de equilíbrio geral computável EPPA; o quarto capítulo apresenta os cenários investigados e os resultados e; o quinto capítulo apresenta as considerações finais do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada de forma sintética a teoria microeconômica que serve como base para o estudo de questões relacionadas ao clima, alguns dos principais trabalhos qualitativos que analisaram a posição brasileira diante das discussões internacionais sobre o clima e trabalhos quantitativos que avaliaram os impactos econômicos decorrentes da adoção de políticas de redução de emissões. Quanto a estes últimos, optou-se apenas pela apresentação de trabalhos relacionados às questões ambientais, apesar da ampla utilização dos modelos de equilíbrio geral computável (EGC) nas mais diversas áreas da economia, como para a avaliação de: mudança tecnológica, relações de comércio, política tributária, crescimento econômico, entre outros. Dessa forma, pretende limitar-se à consideração de modelos ligados à análise ambiental, os quais são semelhantes ao modelo a ser utilizado neste estudo e estão mais afinados com os objetivos deste trabalho.

2.1 Aspectos Teóricos

A teoria econômica fornece todo um arcabouço para a análise das questões ambientais como emissão de gases do efeito estufa, mudanças climáticas e suas políticas de mitigação, uma vez que permite relacionar tais questões às falhas de mercado, as quais impossibilitam a melhor alocação dos recursos disponíveis à sociedade.

Nesse sentido, com base nos trabalhos de Varian (2006), Pindyck e Rubinfeld (2002), Mas-Collé, Whinston e Green (1995), Jehle e Reny (2006), procura-se apresentar de forma sucinta os principais aspectos teóricos relacionados às questões climáticas numa perspectiva microeconômica. Uma análise teórica mais detalhada pode ser encontrada nos trabalhos citados anteriormente.

Assim como o consumo e a produção estão sujeitos a falhas de mercado, a utilização de recursos naturais também pode desencadear o surgimento dessas falhas como ocorre, por exemplo, com as emissões de GEEs na atmosfera. Isso acontece uma vez que tais bens e recursos possuem características que os colocam como bens públicos e sujeitos a externalidades econômicas.

As externalidades ocorrem nos casos em que o uso de um determinado bem por um agente econômico afeta outros agentes, em outros mercados, e esses impactos não são considerados no preço de mercado do bem em questão. Tais externalidades podem ser de dois tipos: negativas e positivas. A primeira ocorre quando a ação de uma das partes impõe custos à outra. Já a segunda surge quando a ação de uma das partes beneficia a outra. O sistema de preços funciona eficientemente porque os preços de mercado transmitem informações tanto a produtores como a consumidores. Entretanto, às vezes os preços de mercado não refletem o que realmente acontece entre as partes envolvidas. Dessa forma, a principal característica das externalidades é que há bens com os quais as pessoas se importam e que não são vendidos nos mercados. É a falta desses mercados para externalidades que causa problemas. Se houver externalidades, o mercado não apresentará necessariamente uma provisão de recursos eficiente no sentido de Pareto⁹.

Nesse contexto, a emissão de gases de efeito estufa, pode ser considerada uma externalidade negativa, pois a emissão desses gases por empresas e países altera a composição química da atmosfera, ou seja, modifica a concentração dos gases de efeito estufa, o que provoca uma mudança global do clima. Apesar disso, não há a imposição de um custo aos emissores pelos efeitos climáticos negativos gerados sobre as outras partes. Isso significa a ausência de incentivos econômicos para reduzir emissões.

Cabe ressaltar ainda, algumas características especiais que em conjunto, colocam desafios à teoria econômica vigente no que se refere às externalidades relacionadas às mudanças do clima:

- i. a mudança do clima é uma externalidade global tanto em suas causas como nas consequências. O impacto incremental de uma tonelada de GEEs sobre a mudança do clima independe da região de origem da emissão (diferente de outros impactos negativos como a poluição do ar e seus custos sobre a saúde pública), pois os GEEs se disseminam na atmosfera e os impactos climáticos locais dependem do sistema climático global.
- ii. os impactos da mudança do clima são persistentes e se desenvolvem ao longo do tempo. Uma vez na atmosfera, alguns GEEs lá permanecem por centenas de anos. Além disso, as respostas do sistema climático ao aumento das concentrações dos

⁹ O conceito de eficiência no sentido de Pareto refere-se a situações em que não é possível melhorar a situação de um agente econômico sem piorar a situação de pelo menos um dos demais agentes. Para maiores detalhes, ver Varian (2006).

GEEs são lentas, o que faz com que seus efeitos sobre o meio-ambiente, economia e sociedade sejam sentidos atualmente e no futuro por um longo período de tempo.

- iii. existem incertezas consideráveis acerca da magnitude, tipo, amplitude dos impactos e custos de combate às mudanças climáticas, portanto, o arranjo a ser utilizado para o enfrentamento do problema deve ser capaz de lidar com riscos e incertezas.

Como destacado anteriormente, a existência de distorções na alocação de recursos gera ineficiências tanto na produção como no consumo, o que torna imprescindível a implementação de mecanismos capazes de corrigir tais externalidades, ou seja, internalizá-las. O estabelecimento de mercados é uma forma de contornar este quadro, pois, a posse do direito de propriedade de emissões torna possível a troca de parte deste por outros bens desejáveis – por exemplo, recursos financeiros. Esse mecanismo surge como uma alternativa ao problema das externalidades negativas, fazendo com que cada parte arque com os custos de suas ações no que diz respeito às emissões. A teoria microeconômica destaca o papel dos preços nestes mercados. Podemos imaginar um leiloeiro a apregoar os preços e a perguntar quanto cada agente estaria disposto a comprar a esses preços. Se o ponto de dotação inicial concedesse a um país o direito de emissões, ele poderia pensar em vender uma parte desse direito a outro país em troca de compensações financeiras. Seguindo este desenvolvimento teórico, foi criado no arranjo do Protocolo de Quioto o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que possibilita a negociação de reduções certificadas de emissão entre as partes (países) seguindo uma estrutura de mercado.

Conforme defendido por Coase (1960), avanços serão obtidos quando as partes puderem negociar sem custo e com a possibilidade de obter benefícios mútuos, obtendo com isso um resultado eficiente, independentemente de como estejam especificados os direitos de propriedade. Assim, os agentes poderão realizar trocas a partir de suas dotações iniciais para alcançar uma alocação eficiente no sentido de Pareto. Apesar disso, os problemas práticos com externalidades geralmente surgem devido à má definição dos direitos de propriedade. Uma empresa ou país pode acreditar que tem direito de realizar emissões na atmosfera, enquanto outros países podem acreditar que os primeiros não têm esse direito. Os casos em que os direitos de propriedade estão mal definidos podem levar a uma produção ineficiente de externalidades – o que significa que haveria um meio de fazer com que ambas as partes, ou ao menos uma delas, melhorassem modificando-se a produção de externalidades (no caso a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera). Porém a definição dos direitos de

propriedade quando se considera recursos como a atmosfera e o clima, encontra como empecilho características intrínsecas de tais bens que os colocam como bens públicos.

Um bem público é uma mercadoria que pode ser disponibilizada a baixo custo para muitos consumidores (bem não disputável), mas, assim que é ofertada para alguns, torna-se muito difícil evitar que outros também a consumam (bem não exclusivo). A atmosfera é um bem não exclusivo e muitas vezes não disputável, mas pode tornar-se disputável quando as emissões de gases de efeito estufa de uma determinada empresa ou país passam a prejudicar as condições e qualidade de vida em outros países e regiões. Assim, um programa de redução de emissões não é exclusivo, pois, não há uma maneira de oferecer esse serviço sem que todos sejam beneficiados por ele. Consequentemente, os países não são estimulados a pagar o real valor que o programa gera. Os países podem atuar como caronas (*free riders*), subestimando o valor do programa de tal forma que possam usufruir dele sem ter de pagar. No caso dos bens públicos, a presença de caronas torna difícil ou até mesmo impossível que os mercados ofertem os produtos eficientemente. Quando muitos grupos estão envolvidos, arranjos voluntários privados tornam-se geralmente ineficazes. Por isso, o bem público acaba sendo subsidiado ou fornecido pelo governo ou, como nas questões climáticas, multilateralmente, caso tenha de ser produzido eficientemente.

Assim, quando um país opta por não adotar medidas de redução das emissões de GEEs, tal país avalia as consequências econômicas dessa escolha para si, sem considerar em seu cálculo o fato de que sua escolha terá consequências negativas para os demais países. Como o custo social é ignorado, haverá uma intensificação do processo de degradação do recurso em questão (no caso a atmosfera).

A atmosfera continuará a receber crescentes quantidades de GEEs, caso não seja criado algum mecanismo que restrinja as emissões desses gases. A propriedade privada seria uma forma de restringir o uso deste recurso, porém, a atmosfera é um bem público, o que dificulta a não utilização e degradação desta. Porém, a propriedade privada, não é a única instituição social capaz de incentivar o uso eficiente dos recursos. É possível, como já está sendo feito, definir mercados de emissões que estabeleçam alguns critérios para as emissões de GEEs. Assim, a existência de um sistema legal que garanta a observância de regras gerais, pode ser uma solução efetiva em termos de custo para prover o uso eficiente do recurso comum, evitando-se assim, uma situação de tragédia do uso comum¹⁰.

¹⁰ Em HARDIN, G. “*The Tragedy of the Commons*”, Science, 1968, pp. 1.243-47, encontramos uma análise detalhada sobre o caso da tragédia do uso comum.

Deste modo, a literatura econômica apresenta diversas formas de corrigir as falhas de mercado associadas às emissões de GEEs, como: a fixação de um padrão de emissões de poluentes, a imposição de taxas para a emissão de poluentes, a distribuição de permissões transferíveis, entre outros.

Um padrão de emissões de poluentes¹¹ é um mecanismo regulatório que estabelece o limite legal de emissão de um agente poluidor. Nesse caso, o agente que provoca a poluição é obrigado a reduzir a produção da atividade que gera a poluição, para níveis que correspondam à quantidade socialmente eficiente; caso contrário terá de enfrentar sanções legais como multas e outras penalidades. O padrão assegura que a empresa produza eficientemente e para fazê-lo ela deve instalar equipamentos de redução de poluição, entre outros.

Já a taxa para a emissão de poluentes é arrecadada sobre cada unidade de poluente emitido por uma empresa. Como não existe um preço inicial para as emissões, ou seja, o preço é zero, este não reflete o custo social das emissões. Dessa forma, excluem-se os custos que estas emissões impõem aos demais países. Segundo esse modo de ver, a situação pode ser retificada se for assegurado que o emissor enfrentará o custo social correto de suas ações. Uma forma de fazer isso é criar um imposto sobre a poluição emitida por um determinado país. Pode-se considerar que seja colocado um imposto de t unidades monetárias por tonelada de GEE emitido por um determinado país. Esse tipo de imposto é conhecido como imposto de Pigou¹². Nesse caso, o governo, ao penalizar os agentes causadores das externalidades por meio da cobrança de impostos, aumentará os custos desses agentes fazendo, assim, com que eles considerem os efeitos externos de suas ações. Porém, o problema com os impostos de Pigou é a necessidade de se conhecer o nível ótimo de poluição para o estabelecimento do imposto.

Quanto às permissões transferíveis, supondo que o interesse seja reduzir as emissões de GEEs com eficiência, a incerteza sobre os custos e os benefícios da redução de emissões faz com que o estabelecimento de taxas não seja a melhor alternativa. Assim, para alcançar esse objetivo a utilização de permissões transferíveis de emissões pode ser a melhor opção. Sob esse sistema, cada empresa ou país deve receber uma permissão para emitir poluentes. Qualquer um que produza emissões e que não possua a permissão adequada torna-se sujeito a multas. O sistema de permissões transferíveis para emissão de poluentes proporciona às

¹¹ Em STEVERSON, R. *“Trying a Market Approach to Smog”*, New York Times, 25 de março de 1992, p. C1; encontramos um exemplo do padrão de emissões de óxido de nitrogênio empregado pelo Governo do Estado da Califórnia.

¹² Arthur Pigou (1877-1959), economista inglês responsável pela distinção entre custos e benefícios sociais e privados, bem como pela idéia que o governo poderia utilizar uma combinação de impostos e subsídios para corrigir esse tipo de falha de mercado. Ver Varian (2006).

empresas e países a possibilidade de negociá-las, de tal modo que aqueles menos capazes de reduzir suas emissões se tornam compradores de permissões.

Por fim, deve-se considerar que as dificuldades na formulação e implementação de políticas de mitigação das mudanças climáticas a nível internacional e global, com o estabelecimento de desafios e responsabilidades em discussões multilaterais, têm incentivado a adoção de medidas unilaterais de enfrentamento dos problemas climáticos. Porém, é preciso levar em consideração que quando as ações de um país ou bloco de países prejudicam os demais, um maior bem-estar (ou um menor nível de emissões) pode ser obtido conjuntamente, em contraposição ao estabelecimento de medidas unilaterais. O próprio objetivo de maximização do bem-estar ou de lucros deve incentivar a internalização da produção de externalidades. O mercado fornece um sinal para que se internalize a produção de externalidades, o que favorece uma atuação conjunta das partes. Com isso, o avanço nas negociações multilaterais, tendo em vista as considerações microeconômicas, no sentido de coordenar esforços, adotar medidas conjuntas e mitigar efeitos negativos das emissões antropogênicas, aparenta ser a melhor alternativa para o enfrentamento dos desafios climáticos recentes.

2.2 Modelos de Equilíbrio Geral Computável e Mudanças Climáticas

O equilíbrio geral walrasiano surge quando oferta e demanda são igualados em todos os mercados interligados da economia. Modelos de equilíbrio geral computável são modelos de simulação que combinam a estrutura abstrata de equilíbrio geral formalizada por Arrow e Debreu com dados econômicos reais para solucionar os níveis de oferta, demanda e preços que sustentam o equilíbrio num conjunto de mercados específicos. Os modelos EGC, são uma ferramenta padrão de análise empírica, amplamente utilizada na análise do bem-estar agregado e na mensuração dos impactos de políticas, que podem ser transmitidos através de múltiplos mercados, contendo um menu de diferentes tributos, subsídios, quotas ou instrumentos de transferências (WING, 2004).

Segundo Shoven & Whalley (1984), os modelos walrasianos fornecem um arranjo ideal para avaliar os efeitos de mudanças políticas sobre a alocação de recursos, estabelecendo quais são as partes favorecidas e prejudicadas por tais mudanças, bem como os impactos que não foram abordados por modelos macroeconômicos. Destacam ainda, que modelos

computacionais, dada a tecnologia dos microcomputadores, removem a necessidade de se trabalhar com pequenas dimensões, pois, um maior nível de detalhamento e complexidade pode ser incorporado quando comparados com os modelos analíticos simples. A modelagem de estudos de políticas fiscais, por exemplo, em que vários tributos podem ser acomodados simultaneamente, se torna possível com os modelos computacionais, assim como no caso dos estudos que envolvem muitos setores e indústrias e visam fornecer detalhes substanciais aos *policymakers* quanto aos efeitos de *feedback* de políticas dirigidas a produtos ou indústrias específicas.

Assim, diante da necessidade de avaliar os impactos de políticas exógenas de mitigação das mudanças climáticas sobre a economia brasileira, a utilização de modelos de equilíbrio geral se faz adequada, uma vez que serão abordados diversos setores, agentes econômicos, países e a influência das ações desses agentes sobre a economia nacional. Além disso, a utilização de modelos de equilíbrio geral permite a obtenção das direções e magnitudes dos choques exógenos, neste caso, a adoção de políticas de redução das emissões dos GEEs, sob cenários alternativos.

Dada a importância dos modelos EGC, inúmeras aplicações desses modelos no estudo de políticas de redução de emissões de gases de efeito estufa podem ser encontradas na literatura, como por exemplo, as análises sobre os impactos do Protocolo de Quioto sobre a economia europeia (VIRGUIER; BABIKER; REILLY, 2003), sobre a economia japonesa (PALTSEV *et al.*, 2004), sobre os países em desenvolvimento (BABIKER; REILLY; JACOBY, 2000), os custos de uma política climática nos Estados Unidos sob a gestão Obama (PALTSEV *et al.*, 2009), o papel da Rússia no Protocolo de Quioto (BERNARD *et al.*, 2003), entre outros.

Nordhaus (2007) avalia abordagens alternativas para a redução de forma eficiente do aquecimento global, bem como os custos e benefícios dessas abordagens. Para isso, utiliza um modelo de equilíbrio geral computável, o Modelo DICE, o qual se baseia na teoria neoclássica do crescimento econômico para avaliar a economia das mudanças climáticas. Um aspecto relevante do Modelo DICE é a inclusão do “capital natural” como um tipo adicional de estoque de capital, no qual, as concentrações de GEEs são vistas como um capital natural negativo, e a redução de emissões como um investimento que aumenta a quantidade de capital natural.

Os resultados deste modelo mostram que as políticas examinadas no âmbito do Protocolo de Quioto são ineficientes, ou seja, não apresentam efeitos significativos sobre o clima global de forma a justificar os custos gerados na implementação das mesmas.

No Brasil, apesar do reduzido número de trabalhos que tratam das questões relativas às mudanças climáticas, pode-se destacar as análises qualitativas sobre a posição brasileira nas negociações internacionais relativas às mudanças climáticas e Protocolo de Quioto realizadas por Diniz (2007) e Viola (2002, 2004). Já Moreira e Giometti (2008) fazem uma análise dos projetos de energia limpa a serem implantados nos países em desenvolvimento no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Quanto aos trabalhos quantitativos sobre os impactos de políticas de mitigação das mudanças climáticas sobre a economia brasileira, a literatura é mais incipiente ainda, principalmente quando se trata do instrumental de modelos EGC. Porém, pode-se destacar o trabalho de Guilhoto, Lopes e Motta (2002) que utilizam o Modelo Inter-regional da Economia Brasileira (Mibra), construído para: analisar as cinco macrorregiões brasileiras, realizar previsões econômicas nacionais e regionais e, com base nessas previsões, estimar os impactos ambientais e regionais do crescimento econômico. Para simular o modelo foram adotados dois cenários, um pessimista e outro otimista, sendo que a determinação desses dois cenários foi realizada com base nas previsões macroeconômicas de modelos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Os resultados deste estudo indicaram uma desconcentração regional fora do eixo Sudeste-Sul, a qual permitiu que taxas de crescimento mais elevadas aumentassem o ganho de eficiência ambiental ao gerar taxas de crescimento menores nas razões da carga industrial poluidora ou do nível de uso de água e energia por unidade de valor produzido.

Lopes (2003) por sua vez, utiliza o modelo de equilíbrio geral computável BR-Green (de influência australiana), que é uma adaptação do modelo Mibra, para verificar que uma redução na emissão de CO₂ provoca uma redução no nível de atividade econômica nacional. Além disso, o trabalho mostra que os setores que mais demandam derivados de petróleo são, de modo geral, os mais afetados. Esses setores registram um aumento em seus custos de produção e, dessa forma, elevam os preços de seus produtos, o que por sua vez, afeta a demanda e reduz as exportações.

Tourinho, Motta e Alves (2003) utilizaram um modelo estático adaptado para a economia brasileira, para o qual se adicionou um módulo ambiental capaz de calcular o volume de emissões de CO₂ para a economia no ano de 1998. O experimento implementado na forma de redução das emissões industriais de CO₂ foi promovido por um choque fiscal, que consistiu na aplicação de três taxas diferentes: US\$ 3, US\$ 10 e US\$ 20 por tonelada de carbono, respectivamente.

O trabalho mostrou que, com a adoção das políticas, houve uma redução no nível de recursos de setores mais intensivos em emissões para setores menos intensivos, com alterações nos níveis de preços acompanhando esta tendência. Além disso, verificou-se uma queda no valor da renda das famílias, uma diminuição no valor do PIB para a economia e um aumento do investimento total.

Rocha (2003) utilizou o Modelo *Carbon Emission Reduction Trade* (CERT), o qual é um “meta-modelo” que utiliza informações de outros modelos para estimar a oferta e demanda do mercado potencial de comércio de emissões dentro do Protocolo de Quioto, considerando diferentes cenários e curvas de custo marginal de abatimento (MAC). Os países e regiões do Modelo CERT foram retirados do Modelo EPPA do MIT, sendo 6 países/regiões do Anexo B¹³ e 6 países/grupos de países não-Anexo B.

Os resultados deste trabalho mostraram que no cenário de referência a maior participação brasileira no mercado de créditos de carbono foi de apenas 3,4%, com a venda de 14,4 milhões de toneladas de carbono, gerando uma receita de US\$ 237 milhões ao custo de US\$ 106,3 milhões. O lucro estimado pelo estudo de todos os projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no Brasil foi de US\$ 327,6 milhões.

Hilgemberg (2004) quantificou as emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo tanto no nível nacional quanto regional e avaliou os impactos de eventuais políticas de controle de emissões. Para isso, utilizou um modelo inter-regional de insumo produto.

Os resultados apontaram que o impacto em todos os setores é menor que o percentual da restrição e que os efeitos tendem a serem maiores naqueles setores onde as ligações com o restante da economia são mais fortes. Observou-se, por exemplo, que se a restrição for imposta ao setor agropecuário, a demanda deste setor pelos insumos do setor comércio e serviços irá diminuir em cerca de R\$ 107 milhões.

Ferreira Filho e Rocha (2007) avaliaram os efeitos de restrições de emissões de GEEs sobre a economia brasileira. Para isso, utilizaram o modelo de equilíbrio geral MOSAICO-GEE, o qual foi derivado do modelo MMRF-GREEN da economia australiana, sendo um modelo estático, inter-regional, “*bottom-up*”, que representa 27 regiões brasileiras e 38 produtos e indústrias.

Os resultados mostraram que taxar as emissões associadas ao nível de atividade dos setores é mais importante que taxar apenas aquelas originadas no uso de combustíveis, dada a

¹³ No Anexo B do Protocolo de Quioto estão listadas as metas de reduções de emissões de GEEs, que são exclusivas às Partes do Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

importância das primeiras na matriz brasileira, o que causa a elevação dos preços dos alimentos. Além disso, a pecuária de corte foi identificada como um dos mais importantes setores emissores da economia.

Feijó e Porto Jr. (2009) utilizam o Modelo GTAP-E, que foi projetado para analisar questões relacionadas ao uso de energia e impactos de políticas de mudanças climáticas, para mensurar os impactos da implantação do Protocolo de Quioto sobre o bem-estar econômico da economia brasileira. Neste intuito, foram agrupados 78 países em 10 regiões e 57 indústrias em oito setores, cinco deles considerando *commodities* energéticas (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).

Os resultados evidenciaram que a política ambiental de redução de emissões, apesar de contribuir para a diminuição de CO₂ na atmosfera, de forma geral, tende a afetar negativamente o bem-estar econômico, principalmente através do encarecimento das *commodities* de energia e da consequente redução do seu uso. Além disso, verificou-se o grande potencial brasileiro em reduzir emissões sem comprometer significativamente seu bem-estar e eficiência alocativa.

Moraes (2010) por sua vez, avalia os impactos econômicos de cenários de mudança climática para a agricultura brasileira através de um modelo EGC estático adaptado à economia brasileira, o *The Enormous Regional Model for Brazil* (TERM-BR). Para isso, utiliza cenários disponibilizados pela EMBRAPA, os quais têm como base dados do IPCC.

Dentre os resultados dos cenários simulados pode-se destacar uma pequena redução da atividade econômica (PIB), elevação de preços de gêneros alimentícios e deslocamentos regionais da mão-de-obra do Nordeste e Centro-Oeste para as demais regiões. Cabe ressaltar que esta migração concentra-se, proporcionalmente, nos estratos mais qualificados do mercado de trabalho, representando um risco para as regiões historicamente menos desenvolvidas.

Já o estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades (2010) realizou uma avaliação econômica dos impactos da mudança do clima no Brasil. Para tal, fez uso do modelo de equilíbrio geral computável denominado EFES. O EFES é o núcleo central de um sistema integrado de modelagem, o qual tem por objetivo geral a especificação e a implementação de um sistema de informações para projeção macroeconômica, setorial e regional, e análise de políticas econômicas. Foram simulados dois cenários de referência, sem mudanças climáticas, e dois cenários de mudanças climáticas, relativos ao futuro da economia

brasileira consistentes com as trajetórias de desenvolvimento econômico mundial dos cenários A2 e B2 do IPCC.

Os resultados do estudo revelaram que os impactos da mudança do clima na economia brasileira levarão a uma perda acumulada de 70% do PIB a um PIB e meio (em valores de 2008) no período de 2008 a 2050, ou seja, o equivalente a um comprometimento de cerca de um ano de crescimento no período considerado. Além disso, verificou-se uma redistribuição regional da agricultura, que pode resultar em menor impacto nacional. Por outro lado, tais impactos na agricultura poderão aumentar as disparidades regionais, sendo este aspecto um dos mais relevantes da análise. Quanto ao setor energético, o trabalho mostrou que os impactos sobre este setor não diferem muito por região em decorrência do fato que a distribuição da energia será realizada por um sistema integrado a partir de 2016.

De forma geral, os modelos avaliados nessa seção indicam uma realocação de recursos na economia de setores intensivos em emissões para setores menos intensivos, bem como perdas de bem-estar econômico em decorrência da redução do nível de atividade econômica gerada pela adoção de políticas de restrição de emissões. Ainda, os impactos sobre o nível de atividade da economia podem variar de acordo com a interdependência entre os setores.

Apesar dos esforços destes trabalhos no sentido de avaliar as consequências econômicas das mudanças climáticas, a literatura nacional que faz uso de modelos EGC para a avaliação das questões climáticas é ainda muito incipiente. Ademais, a maior parte dos trabalhos realizados para a economia brasileira utiliza modelos estáticos com os mais diversos objetivos, como a avaliação dos mercados de biocombustíveis, de créditos de carbono, de combustíveis intensivos em carbono, entre outros. Com isso, verifica-se um amplo espaço para o desenvolvimento de modelos mais avançados, com aspectos dinâmicos e representação da economia mundial, como alternativa aos modelos até então utilizados, para a avaliação dos impactos de políticas e ações brasileiras de mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

3. METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo detalhar a metodologia utilizada no presente estudo para mensuração dos impactos da adoção de políticas de redução das emissões de GEEs no Brasil. Para tal, utilizar-se-á o modelo de equilíbrio geral EPPA, sendo este um modelo dinâmico-recursivo e multi-regional da economia mundial, que foi construído sobre o conjunto de dados do *Global Trade Analysis Project* (GTAP) (DIMARANAN; MCDOUGALL, 2002) e de dados adicionais para as emissões de GEEs.

A primeira seção faz uma apresentação geral do EPPA, destacando suas interligações com os demais modelos e sub-modelos que compõem o Sistema Global de Modelagem Integrada (*Integrated Global System Model* - IGSM) do MIT. A segunda seção detalha algumas das características dos modelos equilíbrio geral computável e como tais características são evidenciadas no EPPA.

A terceira seção apresenta três condições que precisam ser satisfeitas para que o modelo seja solucionado, uma vez que este foi formulado como um Problema de Complementariedade Mista (*Mixed Complementary Problem* – MCP) e explica a dinâmica do modelo no tempo. A quarta seção explicita alguns parâmetros adotados para a calibração do modelo, bem como algumas agregações e outros aspectos importantes no tratamento da base de dados.

A quinta e sexta seção apresentam, respectivamente, algumas características importantes dos setores produtivo e de consumo representados pelo modelo EPPA.

Já a sétima seção trata da representação de mudanças no uso da terra e florestas, mais especificamente, apresenta como este setor, que é o responsável pela maior parte das emissões de GEEs do Brasil, foi construído no modelo EPPA.

Por fim, a oitava seção apresenta uma ampla gama de possibilidades de aplicações do Modelo EPPA na análise de questões econômicas e climáticas.

3.1 O Modelo EPPA¹⁴

O Modelo EPPA pode ser usado como um modelo autônomo da economia mundial para o estudo das emissões de gases de efeito estufa e de políticas ambientais. Ele faz parte do IGSM do MIT, representado na Figura 3:

Figura 3 – Sistema global de modelagem integrada do MIT.

Fonte: Adaptado de Paltsev *et al.* (2005)

O IGSM inclui diversos modelos que simulam aspectos relevantes da química, física e biologia terrestre, sendo os principais componentes do IGSM:

- i. um modelo das atividades humanas e emissões (o *Emissions Prediction and Policy Analysis* - EPPA);
- ii. um modelo da dinâmica física e química da atmosfera, o qual inclui sub-modelos para a dinâmica urbana;
- iii. um conjunto interligado de modelos para o ecossistema terrestre, o *Terrestrial Ecosystem Model* (TEM), o *Natural Emissions Model* (NEM) e o *Community Land Model* (CLM).

¹⁴ Esta seção está baseada em Paltsev *et al.* (2005) e Babiker *et al.* (2001).

As unidades de tempo de simulação variam de acordo com o sub-modelo considerado. Por exemplo, o EPPA é resolvido recursivamente em intervalos de cinco anos, já o modelo para a dinâmica atmosférica apresenta um intervalo de 10 minutos, enquanto que o TEM possui um intervalo temporal de um mês, o que reflete as diferenças na escala de tempo característica dos diferentes processos simulados pelo IGSM.

O IGSM dita uma série de exigências ao componente EPPA como, por exemplo:

- i. um horizonte de simulação de longo-prazo (até o ano de 2100);
- ii. um tratamento abrangente dos principais GEEs – dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6);
- iii. projeções das emissões de substâncias que exercem impacto direto sobre o clima, tais como os aerossóis de sulfatos (SO_x), o carbono negro (BC) e o carbono orgânico (OC);
- iv. tratamento de outras substâncias similares - óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), e compostos voláteis de não metano (COV);
- v. uma desagregação espacial para aqueles gases que não se misturam rapidamente na atmosfera e uma desagregação setorial suficiente para identificar atividades que emitem GEEs.

As questões avaliadas na aplicação do EPPA como parte do IGSM levam em consideração, por exemplo, a incerteza na previsão de mudanças climáticas futuras, os efeitos das políticas de emissões propostas sobre o futuro do clima, as implicações políticas e econômicas das várias metas de estabilização atmosférica e a validade do Índice do Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP) atualmente prescrito pelo Protocolo de Quioto (SOKOLOV *et al.*, 2005).

Além disso, o EPPA realiza simulações da economia mundial ao longo do tempo, produzindo cenários de emissões de GEEs, aerossóis, bem como de outros poluentes do ar e seus precursores emitidos pelas atividades humanas. Estes cenários de emissões atuam como insumos nos modelos da química atmosférica, do clima e dos ecossistemas terrestres, de forma a gerar cenários de mudanças climáticas antropogênicas e mudanças na composição de gases na atmosfera. Mas, uma das grandes contribuições do EPPA para a análise econômica, é sua capacidade de avaliar os impactos econômicos de políticas de mitigação de emissões, bem como suas implicações sobre a equidade e o bem-estar.

3.2 A Estrutura dos Modelos EGC

O EPPA pertence a um grupo de modelos de simulação econômica conhecido como modelos de equilíbrio geral computável. Os modelos EGC representam o fluxo circular de bens e serviços da economia, em que as famílias (consumidores finais) ofertam fatores de produção (capital e trabalho) aos setores produtivos, os quais ofertam os bens e serviços consumidos pelas famílias. Deve-se considerar também, a existência de um fluxo reverso de pagamentos correspondente ao fluxo de bens e serviços, através do qual as famílias recebem pagamentos dos setores produtivos pelos serviços de capital e trabalho fornecidos, e com os recursos recebidos destes, efetuam o pagamento pelos bens e serviços consumidos, conforme ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 – O fluxo circular de bens e recursos no EPPA.
Fonte: Adaptado de Paltsev *et al.* (2005).

As poupanças pessoais e das firmas, bem como os tributos, fornecem os fundos para a realização de investimentos e para as compras do governo. O EPPA também contém um completo conjunto de transações inter-indústrias, o que significa a utilização de uma parcela da produção bruta das indústrias como insumos intermediários em outras. Já o governo é modelado como um agente que arrecada tributos e os transfere entre as famílias, além de possuir seus próprios gastos com bens e serviços. Os fatores de produção por sua vez não podem ser transacionados internacionalmente.

Quando se trata das funções de produção para cada setor, verifica-se que estas descrevem como capital, trabalho, energia e insumos intermediários podem ser combinados

para gerar o produto. O consumo por sua vez, é modelado como se existisse um consumidor representativo maximizando sua utilidade pela escolha dos bens disponíveis. Nesse sentido, as elasticidades de substituição desempenham um papel relevante, pois influenciam as estimativas dos custos das políticas de controle dos GEEs. Quanto aos bens, alguns são modelados como substitutos perfeitos no comércio internacional, enquanto outros utilizam o pressuposto de Armington (ARMINGTON, 1969). Este pressuposto estabelece que bens importados de uma região são substitutos imperfeitos dos mesmos bens com origem em outras regiões, o que permite ao modelo exibir padrões de comércio intra-setoriais não especializados.

Para solucionar o Modelo EPPA, o algoritmo utilizado encontra a solução que maximiza o bem-estar do consumidor e os lucros dos produtores sujeitos às tecnologias de produção e consumo, à dotação de fatores primários, à existência de tributos e outras distorções. Uma forma conveniente de representar as políticas de carbono é introduzir uma restrição adicional que mantém as emissões agregadas de carbono provenientes de combustíveis fósseis sob um limite especificado (PALTSEV *et al.*, 2005).

Além de calcular o preço sombra do carbono (indicador do custo de uma política de controle), os modelos EGC também facilitam, dentro de sua estrutura, a computação das medidas de custo total das políticas simuladas.

3.3 Estrutura de Equilíbrio do Modelo

O EPPA foi formulado como um Problema de Complementariedade Mista¹⁵ (*Mixed Complementarity Problem* – MCP), onde três desigualdades precisam ser satisfeitas: lucro zero, equilíbrio dos mercados e equilíbrio da renda. A utilização da abordagem MCP, envolve três variáveis não negativas: preços, quantidades e níveis de renda.

A condição de lucro zero requer que qualquer atividade em operação obtenha lucro zero, ou seja, o valor dos insumos deve ser igual (ou maior) que o valor da produção. A variável associada com essa condição é o nível de atividade y e para os setores de produção com retornos constantes de escala. Isto significa que $y > 0$ (uma quantidade positiva de y é produzida) e o lucro é zero, ou o lucro é negativo e $y = 0$ (não ocorre atividade produtiva neste

¹⁵ Rutherford (1995) apresenta maiores considerações sobre os Problemas de Complementariedade Mista.

caso). Em termos da formulação em MCP, as seguintes condições devem ser satisfeitas para todos os setores de uma economia:

$$\text{lucro} \geq 0, y \geq 0, \text{produto}^T(-\text{lucro}) = 0 \quad (1)$$

Já a condição de equilíbrio dos mercados, estabelece que qualquer bem com preço positivo deve manter o equilíbrio entre oferta e demanda, e qualquer bem com excesso de oferta deve ter preço igual a zero. O vetor preço é a variável associada. Utilizando a abordagem de MCP, a seguinte condição deve ser satisfeita para cada bem e cada fator de produção:

$$\text{oferta} - \text{demanda} \geq 0, p \geq 0, p^T (\text{oferta} - \text{demanda}) = 0 \quad (2)$$

A condição de equilíbrio da renda requer que, para cada agente (incluindo entidades do governo), o valor da renda deve ser igual ao valor das dotações de fatores e das receitas dos impostos:

$$\text{Renda} = \text{dotações} + \text{receitas dos impostos} \quad (3)$$

De forma simples, o problema de otimização do Modelo EPPA pode ser resumido da seguinte forma:

Comportamento das Firmas

Em cada região (r) e em cada setor (i), uma firma representativa escolhe o nível de produto y, a quantidade de insumos primários (k) e insumos intermediários (x) de outros setores (j), para maximizar os lucros sujeito à sua restrição tecnológica. O problema da firma é dado por:

$$\max_{y_{ri}, x_{rji}, k_{rfi}} \pi_{ri} = p_{ri}y_{ri} - C_{ri}(p_{ri}, w_{rf}, y_{ri}) \text{ tal que } y_{ri} = \varphi_{ri}(x_{rji}, k_{rfi}) \quad (4)$$

onde π e C denotam as funções lucro e custo, respectivamente; e p e w são os preços dos bens e fatores, respectivamente.

No modelo EPPA assume-se que a produção é representada por tecnologias com elasticidade de substituição constante (*Constant Elasticity of Substitution* - CES), que apresentam retornos constantes de escala. Estas suposições simplificam o problema (4). Portanto, o comportamento otimizador da firma implica na seguinte condição de equilíbrio:

$$p_{ri} = c_{ri}(p_{ri}, w_{rf}) \quad (5)$$

onde c é a função custo unitário.

Pelo Lema de Shephard, no setor i a demanda intermediária pelo bem j é:

$$x_{rji} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial p_{rj}} \quad (6)$$

e a demanda pelo fator f é:

$$k_{rfi} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial w_{rf}} \quad (7)$$

Comportamento das Famílias

Em cada região, um agente representativo possui dotações de fatores de produção, cujos serviços podem ser vendidos ou arrendados às firmas. Em cada período, o agente representativo escolhe os níveis de consumo e poupança que maximizam sua função de bem-estar sujeito à restrição orçamentária dada pelo nível de renda M :

$$\max_{d_{ri}, s_r} W_{ri}(d_{ri}, s_r) \text{ tal que } M_r = \sum_f w_{rf} K_{rf} = p_{rs} s_r + \sum_i p_{ri} d_{ri}, \quad (8)$$

onde s é a poupança, d é a demanda final por mercadorias, K é a dotação agregada de fatores do agente representativo na região r .

Como a produção e as preferências são representadas por funções CES, pela dualidade e pela propriedade da homogeneidade linear, para cada região há uma função dispêndio unitária ou índice de preço do bem-estar que corresponde à configuração da Equação 8, dada por:

$$p_{rw} = E_r(p_{ri}, p_{rs}) \quad (9)$$

Pelo Lema de Shephard, a demanda final compensada por bens é dada por:

$$d_{ri} = m_r^- \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}} \quad (10)$$

e para poupança é:

$$s_r = m_r^- \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}} \quad (11)$$

onde m_r^- é o nível inicial de gasto em cada região.

O sistema é fechado, com um conjunto de equações de equilíbrio de mercado que determina os preços de equilíbrio nos diferentes mercados de bens e fatores. Dessa forma, as equações de equilíbrio podem ser descritas da seguinte forma¹⁶:

$$y_{ri} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial C_{rj}}{\partial p_{ri}} + m_r^- \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \quad (12)$$

e

$$K_{rf} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial C_{rj}}{\partial w_{rf}} \quad (13)$$

Ainda, um aspecto de grande importância na caracterização dos modelos de equilíbrio geral são as pressuposições a respeito da capacidade do modelo de captar a dinâmica da economia no tempo. Neste sentido, a evolução temporal do modelo EPPA está baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento do consumo, poupança, investimento, bem como de pressuposições exógenas acerca do aumento da produtividade do trabalho, do uso de energia e da terra.

¹⁶ Suprimiu-se por simplicidade a demanda final das categorias investimento, governo e comércio exterior, uma vez que seguem a mesma formulação da demanda privada do agente representativo.

O EPPA pertence à classe de modelos conhecidos como dinâmico-recursivos, cujas decisões econômicas de otimização são realizadas a cada período, considerando apenas preços e quantidades vigentes no mesmo (expectativas “míopes”). Os resultados de equilíbrio das variáveis gerado em um período são então utilizados como valores de referência para o processo de otimização no próximo período. Assim, em cada período o modelo possui um processo estático de solução, na medida em que os agentes não se preocupam com valores futuros esperados para as demais variáveis.

A representação das decisões de poupança-investimento é um dos aspectos chave dos modelos EGC por captar a dinâmica da economia ao longo do tempo. Os investimentos são representados no modelo através de um setor produtivo específico, o qual deve produzir um nível agregado de investimentos igual ao nível de poupança determinado pela função utilidade do agente representativo. Ainda, nos modelos dinâmico-recursivos poupança e investimento são baseados apenas em variáveis do período corrente. Portanto, não haverá oscilações da poupança e do consumo devido às expectativas de retorno futuro do investimento ou em relação à mudança dos preços no futuro, uma vez que as participações do consumo e da poupança na renda são fixas. Dessa forma, em cada período a poupança é igualada ao investimento, o qual repõe a depreciação no período corrente e contribui para a formação de capital para o próximo período.

A evolução do capital no processo dinâmico é realizada através da distinção entre capital maleável e não maleável. Em qualquer período, cada economia regional é modelada de forma a possuir as duas formas de capital. Uma parcela do estoque de capital agregado é denominada “maleável”, uma vez que, o *mix* de insumos com o qual este tipo de capital é utilizado pode ser alterado em resposta aos preços relativos, sendo descrito por funções de produção CES aninhadas, cujas elasticidades de substituição não são nulas. Já a outra parcela do estoque de capital é considerada rígida ou “não maleável”, pois é combinada com outros insumos em proporções fixas, sendo descrita por funções Leontief, cujas elasticidades de substituição são nulas. Isto permite que o modelo apresente respostas de curto e longo prazo em função das mudanças dos preços relativos. Quanto maior a proporção de capital agregado maleável, maiores as possibilidades de se realizar substituições de curto prazo. Ao passo que, uma maior proporção de capital agregado não maleável fará com que a persistência da resposta ao preço inicial seja maior ao longo do tempo.

Na atualização dinâmica do estoque de capital em cada região, setor e período, uma fração do capital maleável é transformada em não maleável. Assim, a fração remanescente de capital maleável é aquela que pode ter suas proporções de insumos ajustadas aos novos preços

de insumos e ser beneficiada pelas melhorias de eficiência. Este capital maleável é indistinguível de novos investimentos, uma vez que, existe uma flexibilidade definida pela função de produção CES aninhada que ajusta as proporções de capital, trabalho, energia e outros insumos de acordo com os preços relativos prevalecentes. Deve-se destacar ainda que a parcela não maleável do estoque de capital, além de não poder ser realocada entre diferentes setores, não está sujeita às melhorias de progresso tecnológico, como o aumento da eficiência no uso de energia.

Além da acumulação de capital e das decisões de poupança e investimento, outros aspectos são importantes na representação dinâmico-recursiva, como o crescimento populacional e da força de trabalho.

O crescimento da força de trabalho é definido exogenamente, sendo composto pelos efeitos separados do crescimento populacional e da produtividade do trabalho. O crescimento populacional está baseado na tendência de longo prazo dos dados das Nações Unidas, como em (UNITED NATIONS - UN, 2000 e 2001). Já a produtividade do trabalho, deve ser especificada de forma a permitir a reprodução de níveis de produto interno bruto nas regiões do modelo conforme observado pelo Fundo Monetário Internacional (INTERNATIONAL MONETARY FUND - IMF, 2000).

Assim, além do crescimento exógeno da oferta de trabalho (produtividade do trabalho) e dos recursos naturais, o modelo EPPA considera mais duas formas de mudança tecnológica. A segunda forma está relacionada aos fatos estilizados do desenvolvimento econômico, os quais revelam que a utilização de energia por unidade do PIB entre os países tende a decrescer com o aumento dos níveis de atividade dos mesmos. Nas simulações utilizadas para analisar políticas climáticas e energéticas, é comum modelar essas dinâmicas pelas médias de tendências exógenas de insumos energéticos que seguem o aumento autônomo de eficiência energética. A taxa de crescimento destes fatores é chamada de melhoria autônoma de eficiência energética (*Autonomous Energy Efficiency Improvement – AEEI*). O AEEI é uma representação de mudanças no uso da energia no tempo que não estão relacionadas a preços. Baseia-se na observação de que há um aumento contínuo na intensidade de uso de energia nos países desenvolvidos que não é explicado pelos preços dos combustíveis. Esse aumento é considerado algumas vezes como oriundo de mudanças tecnológicas, mas também pode ter suas origens em mudanças estruturais na economia.

A terceira forma de mudança tecnológica considerada pelo modelo são as tecnologias *backstop*, que representam fontes energéticas ainda não comercialmente disponíveis, ou utilizadas em pequena escala, mas que podem atuar como substitutas de outras fontes de

energia existentes. Este tipo de tecnologia tem ocupado um papel de destaque entre os instrumentos de mitigação das mudanças climáticas, principalmente com o desenvolvimento de biocombustíveis mais eficientes e com preços cada vez mais competitivos. Paltsev *et al.* (2005) apresenta diversas opções energéticas, como eólica, solar, entre outras, que poderão ser utilizadas em maior escala quando a oferta de recursos energéticos convencionais se tornar mais escassa.

Quanto aos recursos energéticos, estes foram modelados como uma classe de recursos cujos custos de produção aumentam continuamente com o seu esgotamento. Ao longo do tempo, os recursos energéticos de determinado setor estão sujeitos ao esgotamento com base na produção física do período anterior. Esta formulação capta a principal dinâmica de longo prazo dos preços dos recursos.

Por fim, o comportamento do consumo também rege influência na dinâmica do modelo. Contudo, é mais difícil captar mudanças estruturais importantes no mesmo, como por exemplo, a alteração da participação do consumo no PIB nacional. Além disso, características intrínsecas das preferências no consumo (expressas pelas funções CES) como a homogeneidade linear, acabam por impor a necessidade de utilização de abordagens alternativas para lidar com as mudanças no consumo ao longo do tempo, como será destacado mais adiante.

3.4 Preparação dos Dados

O modelo EPPA agrega o conjunto de dados econômicos do GTAP (DIMARANAN; MCDOUGALL, 2002) em 16 regiões e diversos setores e fatores de produção, conforme apresenta a Tabela 1. Para focalizar melhor as políticas climáticas, o modelo considera maiores desagregações além das fornecidas pelo conjunto de dados do GTAP, como por exemplo, para a oferta de tecnologias de energia e para o transporte. Além disso, foram inseridas novas tecnologias, consideradas potencialmente relevantes no futuro, mas que ainda possuem custos muito elevados no presente (tecnologias *backstop*), que podem aumentar suas participações no mercado de acordo com os preços energéticos ou das condições impostas pelas políticas climáticas.

Os grupos de países em desenvolvimento foram agregados para que fossem geograficamente contínuos. Desagregações setoriais que considerassem a separação dos

setores de serviços (SERV) e transportes (TRAN) do setor de outras indústrias (OTHR)¹⁷ foram incluídas. Isso possibilita a realização de um estudo mais cuidadoso do potencial de crescimento destes setores ao longo do tempo, e de suas implicações para uma economia intensiva em energia.

Tabela 1 – Agregações utilizadas pelo modelo EPPA.

Regiões	Setores	Fatores
Anexo B	Não Energético	Capital
Estados Unidos (USA)	Culturas (CROP)	Trabalho
Canadá (CAN)	Pecuária (LIVE)	Terra
União Européia (EUR)	Silvicultura (FORS)	Petróleo cru
Japão (JPN)	Alimento (FOOD)	Petróleo xisto
Leste Europeu (ROE)	Serviços (SERV)	Carvão
Austrália & N. Zelândia (ANZ)	Intensivo em energia (EINT)	Gás natural
Rússia (RUS)	Transportes (TRAN)	Hidráulica
Não – Anexo B	Outras Indústrias (OTHR)	Nuclear
Brasil (BRA)	Energético	Eólica & Solar
Índia (IND)	Carvão (COAL)	
África (AFR)	Petróleo cru convencional (OIL)	
China (CHN)	Petróleo refinado (ROIL)	
Oriente Médio (MES)	Gás natural (GAS)	
Resto da Ásia (REA)	Etanol (ETH)	
México (MEX)	Combustível líq. de biomassa (BOIL)	
América Latina (LAM)	Petróleo de xisto (SOIL)	
Leste Asiático (ASI)	Elétric.: Fóssil (ELEC)	
	Elétric.: Hidráulica (H-ELE)	
	Elétric.: Nuclear (A-NUC)	
	Elétric.: Eólica (W-ELE)	
	Elétric.: Solar (S-ELE)	
	Elétric.: Biomassa (biELE)	
	Elétric.: NGCC	
	Elétric.: NGCC – CCS	
	Elétric.: IGCC – CCS	

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

Quanto aos números sobre energia, estes estão em unidades físicas e foram baseados nos balanços da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2004, 2005) e da Administração de Informação Energética norte-americana (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA, 2004). Em decorrência da importância dessas informações para a realização do presente trabalho, os dados do GTAP para o Brasil foram comparados com bancos de dados nacionais, a partir de fontes como IBGE, IPEA e Ministério de Minas e Energia¹⁸, e corrigidos quando necessário.

¹⁷ A agregação outras indústrias representa diversos setores, como por exemplo, têxteis, produtos de couro, equipamentos eletrônicos, maquinário, óleos vegetais, minerais, bebidas, motores e peças de veículos, entre outros.

¹⁸ Para maiores informações acerca das comparações dos dados do setor energético brasileiro, ver as Tabelas 42-47 do Apêndice C.

Por fim, as estatísticas sobre as emissões de gases de efeito estufa foram obtidas a partir dos inventários mantidos pelo *Oak Ridge National Laboratory* (MARLAND; BONDEN; ANDRES, 2002).

3.5 Produção

A desagregação de grandes setores por si só pode melhorar a representação das possibilidades de substituição de energia. Além disso, o EPPA considera uma estrutura aninhada para permitir a flexibilidade na determinação das elasticidades de substituição, em particular no que diz respeito aos combustíveis e uso de eletricidade, cujas emissões e custos de abatimento são especialmente sensíveis. As elasticidades de substituição usadas no modelo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Elasticidades de substituição do modelo EPPA.

σ_j	Descrição	Valor	Comentários
σ_{EVA}	Energia - valor adicionado	0,4 - 0,5	Aplicado na maior parte dos setores, 0,5 para EINT, OTHR
σ_{ENOE}	Eletric.- combustíveis agregados	0,5	Todos os setores
σ_{EN}	Entre combustíveis	1,0	Todos os setores exceto ELEC
σ_{EVRA}	Energia/materiais/terra-valor adic.	0,7	Aplicado somente em AGRI
σ_{ER}	Energia/materiais- terra	0,6	Aplicado somente em AGRI
σ_{AE}	Energia – materiais	0,3	Aplicado somente em AGRI
σ_{CO}	Carvão-petróleo	0,3	Aplicado somente em ELEC
σ_{COG}	Carvão/petróleo-gás	1,0	Aplicado somente em ELEC
σ_{VA}	Trabalho-capital	1,0	Em todos os setores
σ_{GR}	Recursos - todos outros insumos	0,6	Aplicado em OIL, COAL,GAS
σ_{NGR}	Rec. Nucleares – valor adicionado	0,04 -0,4	Varia por região
Elasticidades de Comércio Internacional (Armington)			
σ_{DM}	Doméstico – importações	2,0 – 3,0	Varia por região
		0,3	Eletricidade
		5,0	Bens não energéticos
		4,0	Gás, carvão
		6,0	ROIL
σ_{MM}	Entre importações de diferentes países	0,5	Eletricidade

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

A estrutura das funções CES aninhadas comum entre os setores de serviços (SERV), transportes (TRAN), intensivos em energia (EINT) e outras indústrias (OTHR) é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura aninhada dos setores de serviços, transportes, intensivos em energia e outras indústrias.

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

Entre os setores, o carvão é utilizado mais expressivamente nos setores EINT da maioria dos países, sendo o seu uso negligenciável nos demais setores em todas regiões do modelo. Então, para muitos dos setores representados pela estrutura aninhada (ver Figura 5), a elasticidade de substituição inter-combustível, σ_{EN} , é importante somente na determinação da substituição entre os setores ROIL e GAS. Dessa forma, há uma substancial flexibilidade para se utilizar diferentes estimativas encontradas na literatura para a escolha desta elasticidade (no nível mais apropriado).

Já no setor de transportes, a maior parte da energia utilizada provém de produtos do petróleo, os quais fazem parte do setor ROIL, sendo que a elasticidade crítica é entre a energia agregada e o valor adicionado, σ_{EVA} , refletindo o fato de que há pouca substituição direta entre eletricidade, gás e produtos do petróleo. Outro aspecto que deve ser ressaltado diz respeito aos bens importados, os quais passam a ser combinados por região de origem como bens de Armington ($\sigma_{MM} < \infty$), que utilizam o valor da elasticidade de substituição para representar a habilidade de um país substituir, por exemplo, bens de setores EINT de diferentes regiões. O modelo também considera a desagregação do setor de transportes em duas atividades: o setor de transportes da indústria e o setor de transporte das famílias, que é tratado explicitamente no consumo das mesmas.

Outro setor que deve ser destacado é a agricultura, a qual possui uma estrutura aninhada distinta dos demais setores, pois inclui a terra explicitamente e apresenta um *trade* -

off entre terra e uma cesta de materiais e energia. Como o fator de produção terra é um insumo específico para a agricultura, a estrutura aninhada para este setor fornece uma flexibilidade na representação da substituição entre a terra e outros insumos, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 – Estrutura aninhada da agricultura.

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

A estrutura de produção para a eletricidade é a mais detalhada entre os setores (Figura 7). Os níveis do topo da árvore tecnológica permitem o tratamento de diferentes tecnologias de geração. Dentre essas, incluem-se as tecnologias existentes nos dados do ano base (energia fóssil convencional, nuclear e hidráulica) e as tecnologias mais avançadas que não existem no ano base. Muitas dessas tecnologias avançadas entram como substitutos perfeitos para as tecnologias existentes, o que significa $\sigma = \infty$ para este nível. As exceções são as energias eólica e solar que entram no topo da árvore tecnológica, e substituem outras tecnologias controladas pela elasticidade σ_{EWS} . O parâmetro σ_{EWS} permite uma penetração gradual de tecnologias mais avançadas somente quando os preços de geração das tecnologias existentes se elevam, representando uma limitação para a eletricidade que pode ser gerada pelas energias eólica e solar.

Figura 7 – Estrutura aninhada do setor de eletricidade.

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

A parte inferior da árvore tecnológica representa a estrutura interna de algumas tecnologias de geração. Verifica-se que combustíveis convencionais não representam separadamente as tecnologias de geração de carvão, petróleo e gás, as quais são tratadas diretamente via substituição entre combustíveis. Além disso, é possível verificar que existe uma estrutura aninhada mais elaborada para combustíveis do setor de eletricidade do que em outros setores, o que permite uma grande flexibilidade na determinação de elasticidades de substituição para pares de combustíveis.

Por fim, as fontes de energia hidráulica e nuclear possuem estruturas mais simples, com enfoque nos recursos mais relevantes (capital e trabalho). Para estas tecnologias, os recursos naturais necessários para produção têm dotações de fatores fixas específicas às regiões.

3.6 Consumo

Assim como na produção, o Modelo EPPA utiliza uma estrutura CES aninhada para descrever as preferências. A poupança entra diretamente na função utilidade, o que gera uma demanda por poupança e faz com que a decisão consumo - investimento se torne endógena, sendo este um aspecto singular do modelo, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Estrutura aninhada do consumo das famílias.

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

Os valores de referência para as elasticidades no consumo são apresentados pela Tabela 3. A elasticidade entre insumos não energéticos para o consumo entre os períodos de tempo é função do crescimento da renda per capita entre os períodos.

Tabela 3 – Valores de referência das elasticidades finais de demanda.

σ_j	Descrição	Valor	Comentários
Elasticidade da Demanda Final por Energia			
σ_{EC}	Energia- outro consumo	0,25	
σ_{EF}	Entre combustíveis e eletricidade	0,4	
σ_{FSO}	Petróleo refinado - Serviços/Outros	0,3	Aumenta ao longo do tempo
Outras Elasticidades de Demanda Final			
σ_{CS}	Consumo- Poupança	0,0	
σ_C	Entre bens não energéticos	0,25-0,65	Valores do ano base que variam entre os países e aumentam com a renda <i>per capita</i>
σ_{CT}	Transportes- outro consumo	1,0	
σ_{PO}	Transporte próprio- comprado	0,2	
σ_{SO}	Serviços- Outros	0,5	

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Elaboração própria.

A estrutura aninhada considera um ramo para a energia e outro que capta o transporte das famílias. O ramo da energia exclui as compras de combustíveis para o transporte das famílias, que são tratadas explicitamente no ramo de transportes. Deve-se destacar que o consumo de serviços de transporte por parte das famílias apresenta duas formas: transporte próprio (veículos privados) e compras de transporte. As compras de transporte vêm da indústria de transportes (viagens aéreas, marítimas, serviços ferroviários, caminhões, entre outros). Já a oferta própria de serviços de transporte é realizada com a utilização de insumos de outras indústrias como a compras de veículos, serviços (manutenção, seguros, estacionamento, entre outros) e de produtos do setor de petróleo refinado (combustíveis).

Quanto à elasticidade entre insumos não energéticos para o consumo ao longo do tempo, esta é função do crescimento da renda per capita entre os períodos e, portanto, varia de acordo com a região e com o período de tempo. Da mesma forma a participação do consumo em cada período também é atualizada em função do crescimento da renda per capita entre períodos.

Um aspecto importante está relacionado à questão da homogeneidade. A função de consumo CES utilizada no EPPA é homogênea de grau um o que implica que se o consumo total dobrar, a participação de cada bem no consumo total permanece imutável, *ceteris paribus*. Apesar da homogeneidade não ser consistente com algumas tendências de longo-prazo, esta tem se mostrado conveniente no EPPA por simplificar a solução do modelo no algoritmo *Mathematical Programming System for General Equilibrium* (MPSGE)¹⁹. Portanto,

¹⁹ Para maiores detalhes ver Rutherford (1999). No Apêndice A encontram-se algumas considerações sobre o algoritmo MPSGE.

para superar os limites dos retornos constantes de escala no consumo tem-se adotado uma abordagem que torna a elasticidade e as parcelas de participação de bens e serviços no consumo como dependentes da mudança na renda entre períodos, mas não dentro de um período. Isto mantém a homogeneidade dentro de um período consistente com retornos constantes e capta a evolução do consumo em função da renda ao longo do tempo. As mudanças em elasticidades e parcelas ao longo do tempo foram estimadas por Lahiri, Babiker e Eckaus (2000).

3.7 Mudanças no Uso da Terra e Florestas²⁰

No modelo EPPA o uso da terra está dividido em cinco categorias: pastagens, culturas, silvicultura, florestas naturais e campos e savanas. Cada categoria de terra é considerada um recurso renovável, que pode ser alterado pela sua conversão em outra categoria, ou abandonada em categoria não utilizada (vegetação secundária). A terra também está sujeita às melhorias exógenas de produtividade, estabelecidas em 1% ao ano para cada categoria, refletindo a tendência histórica de avanço na produtividade agropecuária, bem como o rendimento histórico das safras, o qual tem apresentado um crescimento de 1% a 3% ao ano (GURGEL; REILLY; PALTSEV, 2008).

Com relação à transformação do uso da terra, determinadas áreas podem ser expandidas pela conversão de outras categorias de terras. Por exemplo, estradas e acessos para áreas de florestas podem ser criados, com isso, uma terra desmatada pode ser transformada em áreas destinadas à silvicultura, pastagens ou culturas. O sentido oposto também pode ser observado, ou seja, áreas destinadas às culturas podem ser abandonadas voltando a crescer florestas ou campos secundários.

Para representar a transformação do uso da terra, acrescentou-se ao modelo equações de conversão de uma categoria de uso da terra em outra e de expansão da fronteira agrícola pela redução das áreas de vegetação natural. Para isso, a integração da conversão do uso da terra dentro do arranjo EGC requer que duas condições chaves sejam atendidas: a primeira, que seja mantida a consistência entre a contabilidade física do solo e a contabilidade

²⁰ Esta seção baseia-se no trabalho de Gurgel, Reilly e Paltsev (2008), no qual podem ser encontrados maiores detalhes sobre as mudanças no uso da terra e florestas.

econômica no cenário de equilíbrio geral, ao passo que a segunda requer o desenvolvimento dos dados de uma maneira consistente com as observações empíricas.

A Figura 9 representa o funcionamento das relações de conversão de uso da terra. Nessas relações, um hectare de determinada categoria de terra pode ser convertido em um hectare de outra categoria. A terra convertida assume uma nova produtividade média de acordo com o tipo de terra que fora convertida e a região. Em equilíbrio, o custo da conversão marginal de um tipo de terra em outro deve ser igual à diferença entre o valor econômico dos dois tipos de terra. Esse procedimento permite manter a pressuposição de lucro econômico igual a zero nos modelos de equilíbrio geral, em que a atividade econômica só se torna viável se seus custos são compensados pela receita advinda da mesma, sendo os lucros contábeis considerados como parte da remuneração ao uso do fator capital. Além disso, exige-se que a conversão utilize insumos reais através de uma função de transformação da terra, como representada na Figura 9.

Figura 9 – Estrutura das funções de conversão do uso da terra.

Fonte: Gurgel, Reilly e Paltsev (2008). Elaboração própria.

A linha tracejada no topo indica uma função de produção de coeficiente fixo, multi-produto, a qual gera um produto florestal (madeira e produtos florestais) quando se converte áreas de florestas naturais, que atua como substituto perfeito da produção do setor florestal. Utiliza-se um fator de produção fixo para modelar a resposta observada da oferta de terra (*Observed Land Supply Response – OLSR*), em que a elasticidade de substituição entre o fator fixo e outros insumos é parametrizada para representar a resposta observada da oferta de terra em resposta a mudanças no preço da mesma nas últimas décadas. O modelo OLSR assume que a resposta observada da conversão de terras nos últimos anos é uma representação da resposta de longo-prazo.

O valor de uso da terra no modelo representa as transações monetárias reais, como inferido pelas agências de estatísticas econômicas de cada país, portanto, este valor deve ser

consistente com os dados sobre receita, custos de insumos e retornos de outros fatores. A renda da terra para uso de culturas, pastagens e silvicultura é obtida a partir da base de dados do GTAP. Para obter o valor da renda por hectare, os dados acerca das rendas agregadas precisam ser divididos pela quantidade física de terra. Como as categorias florestas, campos e savanas não são utilizadas para produção econômica, pois não estão em uso corrente, é necessário um esforço para inferir um valor econômico para essas categorias. Os dados das áreas que não produzem fluxo de renda foram obtidos da base de dados de Hurtt *et al.* (2006). A partir deste conjunto de dados são obtidas as áreas de campos e savanas e florestas naturais, bem como outros tipos de cobertura do solo (tundra, terras alagadas, áreas urbanas e desertos). A Tabela 4 apresenta os dados sobre a cobertura do solo para cada região do EPPA, medidos em milhões de hectares (Mha).

Tabela 4 – Cobertura e uso do solo por regiões do EPPA (em Milhões de ha).

Regiões	Pastagens	Culturas	Silvicultura	Campos e Savanas	Florestas Naturais	Outros	Total
USA	119,22	186,60	59,77	98,79	322,91	119,62	907
CAN	12,11	52,81	16,85	-	352,20	464,09	898
MEX	59,62	21,87	29,88	15,83	67,76	7,77	203
JPN	0,61	4,70	4,56	-	32,01	0,56	42
ANZ	392,96	35,59	36,63	72,94	298,22	35,73	872
EUR	55,75	142,31	60,35	23,99	127,21	70,30	480
ROE	242,17	132,85	16,68	42,44	131,42	40,63	606
RUS	64,88	167,98	43,14	42,81	796,68	552,71	1668
ASI	5,0	71,44	11,09	-	217,04	31,81	336
CHN	184,79	199,51	32,32	60,31	206,02	243,14	926
IND	6,25	177,05	34,53	-	72,44	18,30	309
BRA	121,08	74,62	47,81	92,86	464,98	51,32	853
AFR	744,27	160,91	172,39	296,70	611,04	996,20	2986
MES	182,46	13,80	5,25	98,74	72,89	148,30	521
LAM	256,59	83,70	55,12	57,40	391,60	174,77	1019
REA	135,29	85,97	24,02	86,34	133,55	41,76	507

Fonte: Gurgel, Reilly e Paltsev (2008).

Embora os custos de conversão entre áreas de uso na agricultura (silvicultura, culturas e pastagens) pela suposição de equilíbrio sejam iguais à diferença do valor desses tipos de terras, é preciso estimar o valor das terras que não possuem uso agrícola e os seus custos de conversão.

Para representar as categorias de florestas e de campos e savanas no modelo de equilíbrio geral, torna-se necessário obter o valor monetário de um hectare de terra nessas categorias. Para isso, fez-se o uso dos dados de Sohngen (2007). Esses dados são decompostos de forma a representar o valor do estoque de madeira presente nas áreas de

florestas, campos e savanas, o valor de reserva da terra que seria obtido caso esta seja deixada em descanso e as futuras retiradas de madeira feitas a partir da regeneração da vegetação secundária. Esse valor de reserva foi considerado no modelo de equilíbrio geral como o valor da terra daquelas categorias ainda não economicamente exploradas, mas com potencial de serem utilizadas para agricultura. Dessa forma, a partir deste conjunto de dados foi assumido que na margem, os custos de acesso a áreas remotas de extração de madeira devem ser iguais ao valor do estoque de madeira “em pé” mais aqueles de futuros cortes, possíveis à medida que a floresta cresça novamente.²¹ Calcula-se a partir dos dados citados o valor presente líquido do fluxo de futuras extrações de madeira, utilizando um modelo de corte ótimo de madeira para cada região do mundo e para diferentes tipos de florestas.

Conforme o procedimento proposto por Gurgel, Reilly e Paltsev (2008), juntamente com o conjunto de dados de Sohngen (2007), torna-se possível deduzir o valor do estoque de madeira em florestas nativas, bem como o valor da madeira (para fins de EGC) quando ela é cortada. O valor residual é considerado como o valor de futuros cortes de madeira, ou seja, o valor de reserva da terra. Uma vez que o modelo possui apenas um tipo de floresta não manejada, calcula-se a média ponderada entre os diferentes tipos de florestas para cada uma das regiões do modelo. Como não existem dados para os campos naturais, que obviamente não possuem um estoque de madeira passível de exploração, assume-se que a renda da terra dos campos naturais é uma porcentagem da renda da terra de pastagens, o que é equivalente ao percentual da renda da terra de florestas naturais em relação às terras de manejo florestal. O resultado do fluxo de renda regional da terra por categoria de uso é mostrado na Tabela 5.

²¹ O custo de acesso a florestas naturais é fornecido por Sohngen (2007), através de modelos de exploração madeireira que estimam tal parâmetro para as diferentes florestas do mundo.

Tabela 5 – Fluxos de renda da terra por hectare e região (1997 US\$/ha).

Regiões	Pastagens	Culturas	Silvicultura	Campos e Savanas	Florestas Naturais
USA	73,2	150,0	20,2	11,7	3,2
CAN	43,9	44,4	53,4	-	8,5
MEX	45,4	249,8	4,9	8,2	0,9
JPN	7163,9	2073,0	102,6	-	36,9
ANZ	6,5	65,5	7,3	2,9	3,3
EUR	266,6	341,0	46,5	5,3	0,9
ROE	13,9	50,0	13,4	0,3	0,3
RUS	32,9	30,9	9,8	6,6	2,0
ASI	749,4	428,7	54,5	-	33,8
CHN	125,0	169,2	76,3	7,5	4,6
IND	393,9	249,6	17,0	-	3,7
BRA	12,9	63,6	2,0	2,5	0,4
AFR	5,1	57,7	4,1	3,4	2,7
MÊS	9,4	167,9	14,8	8,1	12,7
LAM	23,1	142,8	6,4	10,9	3,0
REA	50,5	147,8	16,0	35,8	11,4

Fonte: Gurgel, Reilly e Paltsev (2008).

Para calibrar a função de conversão de terras de florestas naturais para florestas desmatadas no ano base é necessário dividir a produção florestal e suas exigências de terras em duas partes: o valor da produção de terras de florestas desmatadas e o valor da produção de madeira proveniente de desmatamento de florestas naturais.

Ainda, deve-se estimar uma elasticidade de substituição entre o fator fixo e outros insumos representados na Figura 9, de forma a representar a resposta observada da oferta de terra de 1990 até o presente momento.

Quanto aos dados de preços das terras, estes não estão facilmente disponíveis na maior parte do mundo, mas em decorrência do comércio mundial de *commodities* agrícolas, são esperados movimentos similares dos preços da terra globalmente. Com base nesta suposição, utilizou-se as mudanças percentuais dos preços da terra nos EUA como *proxy* para variações em preços nas demais regiões para calcular a elasticidade-preço da oferta da terra para cada região. A partir dessa elasticidade, calcula-se a elasticidade de substituição entre um fator fixo e os demais insumos intermediários na função de conversão do uso da terra, seguindo a abordagem descrita em Hyman *et al.* (2002).

A Tabela 6 apresenta os parâmetros associados com a parametrização das terras de florestas naturais, incluindo a participação do produto florestal de áreas de vegetação natural e

de manejo florestal, bem como a participação de terras convertidas, o cálculo da elasticidade da oferta de terras e da elasticidade de substituição.

Tabela 6 – Parâmetros para modelar o uso da terra e funções de transformação.

Regiões	Participação do produto florestal de cortes em florestas naturais	Participação de terras de floresta natural sendo abertas no total de terras usadas para gerar o produto florestal	Elasticidade da oferta de terra	Elasticidade de substituição entre fatores fixos e outros insumos
USA	0,10	0,004	0,05	0,05
CAN	0,01	0,001	0,05	0,05
MEX	0,34	0,106	0,19	0,19
JPN	0,01	0,002	0,05	0,05
ANZ	0,09	0,045	0,30	0,31
EUR	0,01	0,001	0,05	0,05
ROE	0,01	0,002	0,05	0,05
RUS	0,01	0,000	0,05	0,05
ASI	0,45	0,086	0,64	0,64
CHN	0,01	0,001	0,05	0,05
IND	0,07	0,023	0,06	0,06
BRA	0,21	0,068	0,70	0,71
AFR	0,13	0,115	0,36	0,37
MES	0,01	0,008	0,26	0,26
LAM	0,01	0,007	0,70	0,72
REA	0,30	0,101	0,21	0,21

Fonte: Gurgel, Reilly e Paltsev (2008).

Dessa forma, a valoração de áreas naturais como florestas nativas e campos e savanas permite a representação da conversão das mesmas em áreas agrícolas em modelos de equilíbrio geral. Além disso, deve-se destacar que esta abordagem de representação das mudanças no uso da terra com base na taxa de conversão observada tem a vantagem de fornecer a variação da resposta regional de forma consistente com dados recentes de desmatamento e expansão ou retração da fronteira agrícola no mundo, como por exemplo, o fato de países tropicais em desenvolvimento apresentarem uma grande disposição em converter terras em comparação com os países desenvolvidos.

3.8 Implementação de Políticas

O Modelo EPPA incorpora uma variedade de opções para a especificação de políticas de controle de emissões. Impostos e subsídios sobre combustíveis e outros insumos

podem ser representados, bem como as alíquotas desses impostos podem ser fixadas para representar a composição de carbono dos diferentes tipos de combustíveis. Restrições explícitas sobre as emissões são facilmente solucionadas pelo modelo, sendo este flexível na representação das restrições por região, setor, e tipo de GEE. Além disso, as exportações e importações de licenças são contabilizadas juntamente com os outros fluxos comerciais, e o comércio de permissões de emissões entra como parte da balança comercial, a qual está sujeita às suposições de fechamento da conta de capital.

O EPPA também possibilita fixar restrições separadas para cada setor e tipo de gás de efeito estufa e então, encontra a solução para um setor e/ou preço específico de GEE. As emissões de outros GEEs são modeladas separadamente e reportadas em toneladas de CH₄, N₂O, SF₆, HFCs e PFCs. Os controles de preço resultantes da solução do modelo com restrições sobre esses gases são reportados em toneladas de gás relevante e consideram o preço em carbono equivalente. Quando o comércio de gases é permitido, uma taxa de troca entre os gases deve ser especificada. Com esta opção, o preço equivalente de carbono é o preço reportado para a restrição de carbono. Restrições a setores específicos também podem ser estabelecidas, sendo encontradas com ou sem comércio de emissões entre um subgrupo de setores. Essas características tornam o modelo útil na simulação de políticas setoriais hipotéticas²².

Essas possibilidades permitem a simulação de uma ampla variedade de políticas permitindo a representação de restrições em emissões específicas a setores, gases, regiões, bem como o comércio global de emissões e políticas híbridas onde alguns setores, regiões, e gases entram no sistema comercial de emissões operado dentro de um país ou entre países, enquanto outros não têm restrições sobre emissões, mas, não podem tirar vantagem do comércio de emissões. Essa flexibilidade tem se mostrado útil no exame dos benefícios do comércio de emissões quando há distorções pré-existentes tais como impostos sobre a energia que variam entre as regiões ou setores.

Uma característica adicional do Modelo EPPA é sua habilidade para representar endogenamente uma restrição de carbono ou de outro gás de efeito estufa com um limite máximo sobre o preço do carbono, mecanismo conhecido como “válvula de segurança”²³. Tecnicamente a válvula de segurança é implementada via um aumento endógeno das restrições sobre as emissões tal que, os limites de emissão permanecem constantes se o preço

²² Paltsev *et al.* (2004) realizou algumas simulações para a economia japonesa, destacando o setor de energia nuclear.

²³ Maiores detalhes em Jacoby e Ellerman (2004).

do carbono é menor que o preço da válvula de segurança utilizada, mas é relaxada suficientemente para manter o preço do carbono constante quando ele alcança o nível de segurança estabelecido pela política de válvula.

3.9 Fechamento do Modelo

O fechamento macroeconômico do modelo a cada período considera que a oferta total de cada fator de produção é constante, os fatores são móveis entre setores dentro de uma mesma região, com exceção da parcela não maleável do capital, e não há movimento de fatores de uma região para outra. O fator terra é específico aos setores agropecuários enquanto recursos naturais são específicos aos setores que extraem os mesmos para produção de energia. Não há desemprego no modelo, portanto os preços dos fatores são flexíveis. Pelo lado da demanda, a propensão marginal a poupar é constante e específica a cada região de acordo com a sua parcela no total do consumo e poupança agregados na base de dados inicial. Os fluxos internacionais de capitais que compensam os desequilíbrios no comércio de bens e serviços no ano base do modelo são assumidos exógenos e declinantes com o tempo, reduzindo os déficits ou superávits nas transações correntes ao longo do horizonte do modelo. Dessa forma, mudanças na taxa real de câmbio devem ocorrer a cada período para acomodar alterações nos fluxos de exportações e importações. O consumo do governo pode alterar com mudanças nos preços dos bens, assim como a receita advinda dos impostos está sujeita a mudanças no nível de atividade e no consumo.²⁴

²⁴ O Apêndice A apresenta maiores detalhes sobre a álgebra do modelo EPPA.

4 POLÍTICAS, SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Uma vez definida a metodologia a ser adotada para a análise dos impactos das metas de redução de emissões de GEEs sobre a economia brasileira, torna-se possível definir as políticas que servirão de base para as simulações e resultados. O objetivo deste capítulo é definir as políticas, realizar as simulações e discutir os resultados, comparando-os com aqueles obtidos na literatura existente.

4.1 Cenários de Políticas Climáticas

No que se refere à redução das emissões de GEEs, diversas alternativas têm sido discutidas nos debates internacionais, como a taxaço de carbono, políticas *cap-and-trade*, o pleno funcionamento dos mercados de crédito de carbono, entre outros. Tais medidas podem ser eficientes no sentido de reduzir emissões e até mesmo, favorecer a realocaço de insumos por opço es de baixo carbono e promover a inovaço e o desenvolvimento de tecnologias não intensivas em carbono.

O Brasil optou em adotar metas voluntárias de reduço de emissões sobre setores específicos de sua economia. Essas metas foram apresentadas na Conferência das Partes (COP-15) realizada em Copenhague na Dinamarca. Mais especificamente, o objetivo é reduzir as emissões nacionais dos gases causadores do efeito estufa de 36,1% a 38,9% até 2020 em relação ao que o país emitiria se nada fosse feito. Este compromisso significa que o país tentará conter a tendência de emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa na próxima década. Nesse sentido, a reduço está dividida em quatro grandes grupos:

- i. uso da terra, especialmente o controle do desmatamento (24,7% até 2020);
- ii. agropecuária (6,1%);
- iii. energia (7,7%);
- iv. siderurgia, com a substituiço de carvão de desmate pelo originário de replantio de árvores (0,4%).

Na prática o que está sendo proposto é a desaceleração das emissões até 2020. A principal ação nessa linha será o combate ao desmatamento na Amazônia. As metas nacionais apresentadas na COP-15 (de redução de quase 40% das emissões nacionais) estão baseadas na possibilidade do país crescer até 4% ao ano.

Assim, como forma de representar a meta brasileira de redução de emissões apresentada em Copenhague, foram simuladas duas políticas, CP1 e CP2. A primeira (CP1) representa as metas setoriais descritas anteriormente, considerando o controle do desmatamento. Já a segunda política (CP2), faz o mesmo, porém, desconsidera a meta de redução do desmatamento. Tais políticas foram escolhidas com o intuito de avaliar os possíveis impactos econômicos que o cumprimento das metas de Copenhague trarão para o país, considerando medidas setoriais com e sem o controle do desmatamento, uma vez que este tem sido responsável por grande parte das emissões brasileiras.

Ainda, as políticas foram implementadas a partir do ano de 2015 para alcance das metas em 2020, e então de 2021 a 2050 extrapolou-se a continuidade das medidas de redução de emissões, seguindo uma trajetória de redução percentual em emissões que mantenha no tempo a queda linear das emissões no mesmo ritmo observado de 2010 a 2020. Portanto, foi possível a obtenção de resultados para um período posterior ao estabelecido nas metas de Copenhague. Deste modo, uma vez estabelecida uma trajetória de referência para o crescimento da economia e emissões, o passo seguinte será definir os desvios em relação a essa trajetória, previstos pelas políticas adotadas, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Choques implementados de redução nas emissões de GEEs em relação a um cenário de referência sem redução em emissões (%)

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	0,97	0,939	0,9085	0,878	0,8475	0,817	0,7865	0,756
Pecuária	0,97	0,939	0,9085	0,878	0,8475	0,817	0,7865	0,756
Silvicultura	0,97	0,939	0,9085	0,878	0,8475	0,817	0,7865	0,756
Desmatamento	0,14	0,27	0,40	0,53	0,66	0,79	0,92	0,999
Ind. de Alimentos	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Produção de carvão	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Petróleo	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Refino de petróleo	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Gás	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Eletricidade	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Set. intens. energia	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Outras ind.	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Serviços	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692
Transportes	0,966	0,923	0,8845	0,846	0,8075	0,769	0,7305	0,692

Fonte: Dados da pesquisa.

É preciso ainda destacar como as políticas foram implementadas. O modelo EPPA permite considerar restrições de emissões para setores específicos, e como as metas brasileiras de redução são específicas para diferentes setores, procurou-se implementar limites quantitativos em emissões no modelo que atendam às metas. Isso significa que para cada setor separado, o modelo restringe as emissões através do fornecimento de créditos ou permissões de carbono aos agentes, gerando um preço sombra para esses créditos que seria equivalente a uma alíquota de imposto às emissões de carbono, alíquota essa suficiente para que se atinja a meta quantitativa de redução das emissões. Dessa forma, os cenários aqui simulados indicam qual seria a alíquota de imposto ao carbono, para cada setor, necessária para que as metas compromissadas em Copenhague sejam atingidas. Pela desagregação setorial do EPPA, simulou-se o corte em emissões como previsto nas metas de Copenhague para os setores agropecuários e para as emissões de desmatamento. No caso das reduções no setor de energia, como esta é utilizada por todos os setores da economia, optou-se por simular a meta de corte de emissões do setor de energia em todos os setores da economia (exceto agropecuária e desmatamento). No caso do setor de siderurgia, como este não está desagregado no modelo, não foi possível simular a meta estabelecida em Copenhague.

4.2 Resultados

A introdução de metas de redução de emissões a partir do ano de 2015 possibilitou uma mudança na trajetória das emissões brasileiras de GEEs em relação ao cenário de referência (CR), principalmente quando se trata da política CP1, a qual incorpora as metas de redução de emissões setoriais e a do controle do desmatamento. Essa política se mostrou mais eficaz em reduzir as emissões de GEEs, como pretendido pelo governo brasileiro, em comparação à política CP2, que considera apenas as restrições setoriais de emissões e desconsidera reduções em emissões provenientes do desmatamento, conforme mostra a Figura 10.²⁵

²⁵ As Tabelas 23, 24 e 25 do Apêndice C apresentam os dados completos sobre os resultados das emissões brasileiras de GEEs. O Apêndice B apresenta algumas análises de sensibilidade simples sobre as emissões. Em geral, as reduções em emissões do cenário CP1 em relação ao cenário de referência são pouco sensíveis a mudanças em elasticidades e trajetória de crescimento assumidas no modelo.

Figura 10 - Emissões totais de gases de efeito estufa.

Fonte: Resultado do modelo.

Uma análise setorial das emissões brasileiras permite uma avaliação mais detalhada da resposta apresentada pelos setores às políticas simuladas e da eficácia destas em termos de redução das emissões de GEEs, conforme apresenta a Tabela 8. Neste sentido, quando se comparam as emissões atribuídas à política CP1 (mais restritiva) em relação ao cenário de referência, pode-se observar que todos os setores analisados apresentaram reduções em emissões. Deve-se destacar que nos primeiros anos de vigência da política a redução total de emissões se mostrou pouco acentuada; 8,21% e 16,16% em 2015 e 2020; respectivamente. Isso revela uma ambição modesta de redução de emissões nas metas de Copenhagen. Porém, ao final do período considerado, a redução das emissões se mostrou mais expressiva, conforme o cenário simulado de aumento gradativo em restrições, atingindo os picos de 50,89% e 53,73% em 2045 e 2050, respectivamente, de reduções em emissões agregadas em relação ao cenário de referência. Esse resultado revela que, se for dada continuidade à tendência de redução em emissões brasileiras conforme as metas comprometidas em Copenhagen, o país tende a contribuir de forma expressiva até a metade do século para a redução de emissões.

Tabela 8 – Variação das emissões de GEEs no cenário CP1 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-10,28	-13,14	-16,43	-19,64	-22,41	-24,83	-27,14	-29,46
Pecuária	-3,00	-6,10	-9,15	-12,19	-15,25	-18,30	-21,35	-24,40
Silvicultura	-5,05	-8,04	-9,26	-12,38	-15,80	-18,01	-22,57	-23,98
Desmatamento	-14,00	-27,00	-40,00	-53,00	-66,00	-79,00	-92,00	-99,90
Ind. de alimentos	-3,40	-7,91	-11,89	-15,86	-19,80	-23,68	-27,46	-31,36
Produção de carvão	-3,40	-7,70	-11,55	-15,40	-19,25	-23,10	-26,95	-30,80
Refino de petróleo	-3,40	-7,71	-11,57	-15,42	-19,28	-23,12	-26,97	-30,82
Eletricidade	-7,40	-11,33	-14,75	-18,25	-21,44	-24,92	-28,52	-32,13
Set. intens. energia	-3,95	-8,28	-12,16	-16,02	-19,85	-23,71	-27,58	-31,41
Outras indústrias	-4,11	-8,35	-12,16	-15,97	-19,82	-23,66	-27,51	-30,72
Serviços	-3,57	-8,02	-12,01	-16,04	-19,96	-23,78	-27,69	-31,57
Transportes	-3,42	-7,77	-11,55	-15,44	-19,33	-23,20	-27,07	-30,94
Domicílios	-3,12	-7,04	-10,51	-13,95	-17,31	-20,61	-23,94	-27,30
Transp. doméstico	-4,00	-9,24	-14,05	-19,11	-24,52	-30,17	-36,18	-42,67
Ind. de cimento	-0,63	-1,37	-1,99	-2,56	-3,20	-3,96	-4,57	-5,16
Total	-8,21	-16,16	-24,08	-31,57	-39,14	-45,58	-50,89	-53,73

Fonte: Resultado do modelo.

Os setores de culturas e desmatamento foram os mais sensíveis às políticas simuladas, apresentando inicialmente as maiores reduções percentuais; 10,28% e 14% respectivamente, atingindo os picos de redução de emissões da ordem de 99,90% para o desmatamento em 2050 e 29,46% para o setor de culturas no mesmo período. Cabe ressaltar que estes, juntamente com a pecuária, são responsáveis por mais da metade das emissões brasileiras de GEEs.²⁶

A significativa redução dos níveis de emissões destes setores pode ser melhor compreendida através da análise da importância dos mesmos para a redução das emissões brasileiras. Como destacado anteriormente, culturas e desmatamento respondem por uma parcela considerável das emissões do Brasil, portanto, receberam maior atenção do governo (juntamente com o setor energético), o que implicou em metas de redução de emissões mais elevadas. O controle do desmatamento, por exemplo, precisa reduzir suas emissões em 24,7%, representando a maior meta dentre as apresentadas pelo Brasil em Copenhague.

É importante ressaltar, contudo, as oportunidades de redução em emissões na produção de culturas agrícolas. A meta de redução estabelecida é similar à do setor de pecuária, de 3% no ano de 2015 e atingindo 24,4% em 2050. Contudo, as reduções em emissões no setor de culturas são mais expressivas que as metas estabelecidas. Esse resultado

²⁶ A Tabela 27 do Apêndice C apresenta a participação das emissões setoriais no cenário de referência.

está relacionado às emissões de óxido nitroso provenientes da aplicação de fertilizantes nitrogenados na agricultura. Como as metas de redução de emissões afetam a indústria produtora de fertilizantes (parte do setor intensivo em energia), esse insumo se torna mais caro e estimula o seu emprego em menores quantidades e de forma mais eficiente na produção agrícola.

A indústria de cimento por sua vez, se mostrou menos sensível às políticas, alcançando uma redução máxima de 5,16% no final do período de simulação. Esta indústria apresenta uma participação relativamente pequena nas emissões nacionais (ver Tabela 27 do Apêndice C), o que pode indicar uma maior dificuldade em realizar reduções mais acentuadas de seus níveis de emissões e/ou que o setor pode apresentar resultados mais significativos com a adoção de políticas alternativas. Vale lembrar que as emissões da indústria de cimento não são provenientes do uso de energia fóssil, e que portanto, não foram diretamente atingidas pelas políticas simuladas. Isso indica que a queda em emissões é proveniente do efeito indireto de redução na produção do setor “outras indústrias” do EPPA quando da simulação dos cenários de reduções em emissões.

Já os setores energéticos (refino de petróleo, eletricidade, setores intensivos em energia e produção de carvão) e demais setores (serviços, transportes, indústria de alimentos e outras indústrias) de uma forma geral, apresentaram um comportamento semelhante, isto é, iniciam o período de simulação com reduções de emissões pouco expressivas, o que se altera ao final do horizonte de simulação com o aumento da magnitude das variações. A semelhança em redução de emissões se deve ao corte simulado para esses setores, de mesma intensidade. As diferenças em redução de emissões entre os setores refletem as diferenças na intensidade de uso de energia emissora entre eles, ou seja, os setores que mais reduzem emissões são aqueles que dependem menos de fontes de energia de maior intensidade poluidora e/ou que possuem maior capacidade de substituir fontes de energia mais poluidoras por fontes de energia de menor emissão. O setor de transporte doméstico, por exemplo, possui a alternativa de utilizar o etanol extraído a partir da cana-de-açúcar, combustível de menor nível de poluição que o derivado do petróleo, sendo portanto, capaz de reduzir suas emissões além da meta estabelecida.

Ao avaliar a política CP2 em relação ao CR, pode ser observado que a mudança mais significativa está relacionada ao desmatamento, o qual deixa de apresentar uma meta de redução de emissões com a introdução da política, conforme a Tabela 9. Mesmo sem a adoção de uma política específica que leve em consideração as emissões provenientes do desmatamento, este ainda apresentou reduções de suas emissões em relação ao cenário de

referência, apesar da intensidade da redução ter diminuído consideravelmente. Essas reduções são consequência indireta da política sobre os setores agropecuários, que se expandem menos devido aos custos da política para a produção agrícola. Ainda, com a introdução das metas setoriais (CP2) a redução percentual total em emissões, relativamente ao cenário de referência, é bem menor para todos os anos analisados, o que ressalta a importância da adoção de políticas que visem o controle do desmatamento para que o Brasil possa contribuir de forma mais efetiva para a redução de emissões dos GEEs.

Tabela 9 – Variação das emissões de GEEs no cenário CP2 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-10,28	-13,14	-16,43	-19,64	-22,41	-24,83	-27,14	-29,46
Pecuária	-3,00	-6,10	-9,15	-12,19	-15,25	-18,30	-21,35	-24,40
Silvicultura	-5,05	-8,04	-9,26	-12,38	-15,80	-18,01	-22,57	-23,98
Desmatamento	-6,22	-6,10	-8,99	-13,90	-13,87	-13,34	-11,11	-8,96
Ind. de alimentos	-3,40	-7,91	-11,89	-15,86	-19,80	-23,68	-27,46	-31,37
Produção de carvão	-3,40	-7,70	-11,55	-15,40	-19,25	-23,10	-26,95	-30,80
Refino de petróleo	-3,40	-7,71	-11,57	-15,42	-19,28	-23,12	-26,97	-30,82
Eletricidade	-7,40	-11,33	-14,75	-18,25	-21,44	-24,92	-28,52	-32,13
Set. intens. energia	-3,95	-8,28	-12,16	-16,02	-19,85	-23,71	-27,58	-31,41
Outras indústrias	-4,11	-8,35	-12,16	-15,97	-19,82	-23,66	-27,51	-30,72
Serviços	-3,57	-8,02	-12,01	-16,04	-19,96	-23,78	-27,69	-31,57
Transportes	-3,42	-7,77	-11,55	-15,44	-19,33	-23,20	-27,07	-30,94
Domicílios	-3,12	-7,04	-10,51	-13,95	-17,31	-20,61	-23,94	-27,29
Transporte Doméstico	-4,00	-9,24	-14,05	-19,11	-24,52	-30,17	-36,19	-42,70
Ind. de cimento	-0,63	-1,37	-2,00	-2,56	-3,21	-3,98	-4,59	-5,18
Total	-5,72	-7,82	-10,90	-14,89	-16,73	-18,46	-19,79	-21,47

Fonte: Resultado do modelo.

As metas brasileiras estabelecidas em Copenhague visam contribuir para o esforço global de redução de emissões. É importante verificar como essas metas contribuem com o esforço global, através da participação do Brasil nas emissões mundiais. Os resultados do trabalho apontam que a introdução das metas apresentadas em Copenhague, representadas pelas políticas CP1 e CP2, seria eficaz em diminuir a participação brasileira nas emissões mundiais, conforme a Figura 11.

A política CP1 apresenta as maiores reduções da participação brasileira nas emissões mundiais de GEEs, por apresentar maiores níveis de reduções de emissões que CP2, uma vez que restringe as emissões provenientes do desmatamento. Vale notar que o modelo EPPA prevê uma trajetória de redução da participação brasileira nas emissões mundiais em um cenário de referência sem políticas climáticas. Dois fatores contribuem para isso: a redução

gradativa nas taxas de desmatamento conforme vem sendo observado na presente década e o aumento das emissões no resto do mundo principalmente em economias emergentes, como a China e a Índia, que possuem matrizes energéticas bem mais intensivas em emissões de gases de efeito estufa do que o Brasil.

Figura 11 – Participação do Brasil nas emissões mundiais de GEEs.

Fonte: Resultado do modelo.

A redução da participação brasileira nas emissões mundiais proporcionada pelos cenários simulados torna-se mais acentuada quando comparada ao cenário de referência. Em 2035, por exemplo, o Brasil responde por 2,84% das emissões mundiais no cenário de referência, porém, com a introdução da política CP1 esta participação cai para 1,75%. Já em 2050, a participação do país cai de 2,59%, no CR, para 1,21%, o que representa uma redução de 53,28%.

A aplicação das metas de redução de emissões de GEEs através do EPPA permite estimar o preço do carbono (ou o nível de um imposto ao carbono) que seria necessário para que a meta fosse alcançada. A idéia por trás deste mecanismo é obter o valor do imposto, para cada setor, que propicie o cumprimento das metas de restrição de emissões. Nesse sentido, com a introdução das políticas foi possível identificar um padrão de preços semelhante ao longo do horizonte de simulação. No período inicial os preços são pouco expressivos, uma vez que as metas são mais modestas, mantendo uma trajetória de crescimento até o último período da simulação devido ao aumento nas restrições às emissões ao longo do tempo (Tabela 10).

Dentre os setores analisados, os de transportes, serviços, outras indústrias, setores intensivos em energia e culturas, apresentaram os maiores valores de impostos às emissões, o que indica uma menor capacidade destes setores em utilizar fontes alternativas de energia. Como consequência, valores crescentes de impostos são necessários para induzir cortes em emissões de forma que as metas apresentadas em Copenhague sejam atingidas. Os setores de serviços, transportes e intensivos em energia chegam a apresentar, respectivamente, valores de impostos da ordem de US\$ 209,53; US\$151,49 e US\$ 142,01 por tonelada de CO₂ em 2050.

Tabela 10 – Imposto sobre o carbono com a política CP1 (em US\$/ton. de CO₂).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	20,06	42,77	56,01	63,14	71,46	75,85	87,35	100,71
Pecuária	20,67	46,01	64,74	76,52	80,56	77,53	78,05	81,76
Silvicultura	17,77	34,21	41,41	52,35	52,54	50,45	61,37	81,97
Ind. alimentos	9,35	24,70	36,1	45,68	53,88	61,88	74,15	88,73
Refino de petróleo	0,59	1,75	1,03	2,65	4,07	4,69	6,28	8,28
Eleticidade	0,61	2,00	2,87	3,05	2,77	2,03	3,11	4,95
Set. intens. energia	6,93	19,32	31,23	46,52	63,19	81,16	108,20	142,01
Outras indústrias	5,01	13,87	22,56	33,73	46,38	61,70	83,62	111,69
Serviços	9,23	25,23	43,33	66,44	93,35	122,10	161,15	209,53
Transportes	10,16	27,95	13,17	35,10	56,93	79,37	111,94	151,49

Fonte: Resultado do modelo.

Cabe ressaltar que culturas, pecuária, silvicultura e indústria de alimentos apresentaram um padrão muito semelhante na aplicação das duas políticas²⁷, sendo que os setores de culturas e pecuária apresentam os maiores valores iniciais de imposto ao carbono, respectivamente, US\$ 20,06 e US\$ 20,67 por tonelada de CO₂, já que os cortes iniciais são mais elevados nesses setores. A indústria de alimentos segue o desempenho de culturas e pecuária, pois utiliza em larga escala bens produzidos por estes como insumos intermediários em seu processo produtivo, o que explica a similaridade de comportamento. Entre os setores não produtores de energia, o setor de silvicultura é o que requer menores valores de imposto para induzir as reduções de emissões esperadas, valor este que pode atingir o pico de US\$ 81,97 por tonelada de CO₂ para o cumprimento das metas. Isso se deve ao uso relativamente menor de energia e a ausência de emissões de outros gases de efeito estufa que não o CO₂ por este setor.

²⁷ Os dados setoriais sobre o imposto ao carbono com a introdução da política CP2 podem ser visualizados na Tabela 30 do Apêndice C.

Vale destacar que a capacidade de manter os preços de créditos de carbono relativamente menores na agricultura e na pecuária está associada ao fato de que a maior parte das emissões desses setores é proveniente de gases de efeito estufa não relacionados ao uso de energia, como é o caso do metano na pecuária e do óxido nitroso na agricultura. Esses gases podem ser reduzidos através de melhores práticas de manejo, o que é captado no modelo através de elasticidades de substituição.

Quanto ao imposto sobre as emissões provenientes do desmatamento, o qual só pode ser avaliado no âmbito da política CP1, a Figura 12 permite observar como o aumento na intensidade das reduções de emissões ao longo do tempo está relacionado ao aumento gradativo do valor do imposto às emissões. O imposto é relativamente baixo para os níveis iniciais de redução, apresentando os valores de US\$ 5,45; US\$ 10,91 e US\$ 16,36 por tonelada de CO₂ equivalente, nos anos de 2020, 2025 e 2030, respectivamente. Porém, nos períodos finais do horizonte de simulação, verifica-se um aumento do custo para que as metas sejam atingidas, o que pode fazer com que o imposto atinja os valores de US\$ 68,18 e US\$95,45 nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. Considerando a meta que o governo estabeleceu para 2020, as emissões oriundas do desmatamento poderiam ser reduzidas com o estabelecimento de um nível relativamente baixo de imposto sobre o carbono, de cerca de US\$ 11 por tonelada de CO₂.

Figura 12 – Imposto sobre carbono do desmatamento.

Fonte: Resultado do modelo.

A análise das trajetórias de preços do carbono observadas para os diferentes setores da economia sugere que a estratégia de maior eficiência econômica seria estabelecer uma única meta de redução para a economia como um todo, e permitir que os setores negociem

créditos de carbono, o que faria surgir um único preço, ou imposto, ao carbono na economia. Os setores que conseguem atingir as metas a menores custos são os mais eficientes em reduzir emissões, e seriam ofertantes potenciais de créditos de carbono. Já aqueles com menor flexibilidade em reduzir emissões poderiam adquirir tais créditos dos setores eficientes a preços mais baixos que os simulados no presente estudo, em que não existe a possibilidade de negociação de créditos de carbono entre os setores.

Outro indicador para avaliação do desempenho econômico são os preços dos bens na economia, aqui mensurados como o preço da oferta de um bem ou serviço, considerando em conjunto a oferta de bens nacionais para o mercado doméstico e as importações.

A Tabela 11 apresenta os resultados de mudanças percentuais nos preços dos bens com a introdução da política CP1. Uma política mais restritiva nos moldes de CP1 não gera diferenças mais pronunciadas em relação a CP2, sendo esta menos restritiva por considerar apenas as metas setoriais. Dessa forma, apresentam-se aqui apenas os resultados de preços para o cenário CP1. Os resultados para o cenário CP2 encontram-se na Tabela 31 do Apêndice C.

Tabela 11 – Variação dos preços de oferta doméstica no cenário de política CP1 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	0,30	0,78	1,92	3,67	4,71	5,60	6,54	7,44
Pecuária	0,24	0,72	2,29	6,20	12,21	19,95	28,75	37,93
Silvicultura	0,07	0,13	-0,68	-2,45	-4,07	-6,07	-6,16	-6,01
Ind. alimentos	0,05	0,19	0,67	1,70	3,01	4,64	6,57	8,66
Produção de carvão	-1,57	-3,72	-4,98	-7,08	-8,98	-10,5	-12,35	-14,23
Refino de petróleo	-0,05	-1,21	-1,95	-2,67	-2,15	0,03	-0,36	0,51
Gás	-1,22	-3,10	-4,67	-7,11	-9,78	-12,49	-15,61	-18,94
Eletricidade	0,11	0,18	0,01	-0,51	-0,82	-0,83	-0,80	-0,63
Set. intens. energia	0,29	0,68	0,95	1,14	1,36	1,64	1,97	2,32
Outras indústrias	-0,25	-0,57	-0,84	-1,27	-1,70	-2,15	-2,65	-3,14
Serviços	-0,33	-0,71	-0,99	-1,42	-1,81	-2,23	-2,65	-3,08
Transportes	2,45	5,72	6,73	9,73	12,47	15,45	18,5	21,52
Consumo das famílias	-0,22	-0,49	-0,71	-1,07	-1,43	-1,83	-2,23	-2,61

Fonte: Resultado do modelo.

Cabe ressaltar que diversos efeitos podem influenciar o comportamento dos preços, dentre os quais se destacam: (i) os efeitos sobre os setores produtores de energia derivada de combustíveis fósseis, os quais levam à queda de preço, uma vez que o imposto ao carbono

encarece o consumo de energia e reduz sua demanda; (ii) os impactos sobre os setores demandantes de energia, encarecendo este insumo e consequentemente o produto; (iii) efeitos sobre setores que demandam créditos de carbono e, portanto, levam à aumentos de preço dos produtos pela necessidade de compra desses créditos; (iv) os impactos do efeito renda, pois, o imposto ao carbono representa uma redução da renda disponível e o encarecimento de insumos e produtos, o que faz com que a demanda em geral se reduza, afetando os preços dos produtos negativamente.

Com a introdução da política CP1, verificou-se que os setores de produção de carvão, refino de petróleo e produção de gás apresentaram redução dos níveis de preços, que pode ser explicada pelo encarecimento do seu consumo pela necessidade de pagar o imposto ao carbono, e consequente redução da demanda, uma vez que são produtores de energia fóssil, conforme destacado no (i). Já o setor de geração de energia elétrica apresenta inicialmente pequenos aumentos percentuais em preço e posteriormente pequenas quedas. Isso se deve à grande parcela de participação de fontes renováveis na geração de eletricidade, como é o caso da energia hidroelétrica no Brasil, o que torna este setor menos sensível à política. Contudo, o efeito renda tende a predominar no final do período simulado, uma vez que ocorre queda no preço da energia elétrica devido à redução no consumo agregado na economia.

Os setores de serviços, silvicultura e o consumo das famílias, que também apresentaram reduções de preços, sofrem influência do efeito renda, o qual acarreta em redução da renda disponível e da demanda.

Nos setores intensivos em energia e de transportes, foram observados aumentos de preços em decorrência do encarecimento da energia. Os setores de culturas e pecuária também apresentaram aumentos de preços em todos os períodos analisados, o que pode ser explicado pela necessidade de compra de créditos de carbono, levando ao encarecimento de suas produções.

Por fim, deve-se destacar o padrão de preços apresentado por dois setores, a indústria de alimentos e outras indústrias. O primeiro setor tem seu aumento de preço explicado pela combinação de dois efeitos distintos, o encarecimento da energia e o aumento dos custos com as elevações de preços de insumos provenientes dos setores de culturas e pecuária, os quais precisaram internalizar novos custos (compra de créditos de carbono). Já no segundo setor, as quedas de preços também podem ser compreendidas pelo encarecimento da energia e consequente redução da demanda, bem como pelo efeito renda, que implica em quedas de preços devido a redução da renda disponível e, portanto, da demanda.

Uma vez analisado o comportamento dos níveis de preço, pode-se avaliar como os setores considerados responderam à introdução de políticas de redução de emissões, em termos de variação dos níveis de produção. Foi possível verificar que nas simulações realizadas, a maior parte dos setores apresentou reduções percentuais de produção em relação ao cenário de referência, com destaque para os setores de refino de petróleo, gás, transportes e produção de carvão (Tabela 12).²⁸

Tabela 12 – Variação da produção com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-0,51	-1,21	-2,76	-5,09	-7,48	-10,10	-12,80	-15,55
Pecuária	-0,28	-0,67	-1,66	-3,51	-5,88	-8,69	-11,71	-14,81
Silvicultura	2,34	6,74	11,46	14,94	18,80	21,06	21,15	19,06
Ind. de alimentos	-0,20	-0,48	-1,24	-2,69	-4,55	-6,79	-9,24	-11,78
Produção de carvão	-2,56	-6,40	-8,38	-11,00	-12,72	-14,23	-15,79	-17,42
Petróleo	0,15	-1,82	-3,17	-3,25	-1,60	1,73	2,26	2,39
Refino de petróleo	-2,52	-4,60	-7,42	-9,48	-12,87	-18,04	-21,35	-24,48
Gás	-3,30	-7,85	-10,81	-15,18	-19,14	-22,34	-25,50	-28,48
Eletricidade	-0,26	-0,58	-0,94	-1,25	-1,75	-2,51	-3,37	-4,41
Set.intens. energia	-0,64	-1,35	-2,01	-2,55	-3,20	-3,96	-4,58	-5,16
Outras indústrias	0,11	0,28	0,38	0,63	0,82	1,03	1,34	1,67
Serviços	0,03	0,05	0,02	0,07	0,11	0,17	0,20	0,21
Transportes	-2,37	-5,20	-6,33	-8,89	-11,09	-13,33	-15,37	-17,21
Consumo das famílias	-0,02	-0,08	-0,15	-0,24	-0,32	-0,42	-0,59	-0,80

Fonte: Resultado do modelo.

Os setores de refino de petróleo, gás e produção de carvão, além de pertencerem ao setor energético, têm em comum a características de produzirem a energia emissora de gases de efeito estufa. Como o consumo de energia fóssil fica mais caro com o imposto ao carbono, tais setores sofrem de forma mais intensa os impactos das políticas de redução de emissões, resultando em perdas que podem chegar a 24,48%, 28,48% e 17,42% em 2050, respectivamente. Porém, a redução de produção dos mesmos favoreceu a redução das emissões de GEEs apresentada pelo Brasil (em conjunto com as reduções provenientes do desmatamento), o que pode ser corroborado pela redução das emissões do refino de petróleo e da produção de carvão em 30,82% e 30,80% no ano de 2050, respectivamente.

Os setores de transportes e intensivos em energia também apresentaram reduções percentuais em relação ao cenário de referência com a introdução das políticas de restrição de

²⁸ A Tabela 32 do Apêndice C apresenta maiores detalhes sobre os resultados da variação da produção no cenário CP2.

emissões. Deve-se destacar que estes setores têm seu comportamento atrelado ao desempenho do setor energético, o qual apresentou uma forte retração principalmente quando se trata de fontes energéticas intensivas em carbono. Além do desempenho do setor energético, a redução da produção dos setores de transportes e intensivos em energia está relacionada ao aumento de seus preços, bem como pelo aumento das importações, o que indica uma perda de competitividade destes setores, ocasionada pela introdução das políticas simuladas.

Já os setores de culturas, pecuária e indústria de alimentos apresentam um padrão semelhante, de redução percentual da produção em relação ao cenário de referência. Cabe destacar que os dois primeiros representam a agricultura, segundo setor que mais emite GEEs no Brasil, enquanto que o terceiro utiliza bens dos primeiros como insumos intermediários, o que explica a semelhança de comportamento. Dentre os fatores que permitem compreender a redução da produção destes setores destacam-se: aumentos de preços, redução das exportações, bem como o aumento das importações, indicando uma perda de competitividade dos produtos agrícolas brasileiros em decorrência das restrições às emissões com a introdução das políticas CP1 e CP2.

O consumo final das famílias e o setor de produção de energia elétrica também apresentaram variações negativas em relação ao cenário de referência. A produção de energia elétrica, por exemplo, pode ser reduzida em até 4,41% em 2050 com a introdução de CP1. O desempenho destes setores pode ser interpretado como uma consequência do efeito renda associado ao arrefecimento econômico ocasionado pelas políticas CP1 e CP2, o que pode ser corroborado pela redução dos preços e da demanda dos bens e serviços dos mesmos. Vale notar que, como uma parcela considerável da energia elétrica no Brasil é proveniente de fontes renováveis, com destaque para a energia hidroelétrica, a queda na produção desse setor não é tão expressiva quanto nos setores de energia fóssil.

Ainda, a introdução de políticas de redução de emissões permite que outros setores se tornem relativamente mais competitivos, apresentando aumento da produção, das exportações e redução das importações. Este é o caso da silvicultura, outras indústrias e serviços. Tais setores, para ambas as políticas, apresentaram ganhos percentuais na produção em relação ao cenário de referência, com destaque para o setor silvícola, o qual apresentou a maior variação percentual de produção, com ganhos da ordem de 21,06%; 21,15% e 19,06%; nos anos de 2040, 2045 e 2050, respectivamente. Parte desse resultado se deve à realocação de fatores produtivos (terra, capital e trabalho) dos setores em queda e mais afetados pela política, para esses setores que experimentam menores impactos, seja pela menor dependência de energia derivada de combustíveis fósseis, seja pela menor dependência da demanda

doméstica. A oferta de fatores produtivos mais baratos reduz os custos de produção desses setores, o que favorece as exportações dos mesmos.

A produção de petróleo cru por sua vez, apresenta um ligeiro aumento com a entrada em vigor das políticas. Esse resultado é reflexo de características particulares deste setor, que produz, por exemplo, uma *commodity* de grande importância nos mercados mundiais (bem homogêneo) e que tem sua demanda doméstica reduzida, já que o setor de refino do petróleo é atingido pela política de redução de emissões. Com excesso de oferta no Brasil, o preço do petróleo brasileiro fica relativamente mais barato, e o mercado mundial, que não possui restrições às emissões, absorve o excedente brasileiro.

Outro setor cuja produção precisa ser considerada pela importância do mesmo para a economia brasileira é o de produção de etanol extraído a partir da cana-de-açúcar. Como esperado, a adoção de políticas de restrição de emissões incentivou a utilização de fontes alternativas de energia. No Brasil, a fonte alternativa de energia mais beneficiada pela introdução das políticas foi a produção de etanol, conforme a Figura 13.

Figura 13 – Produção de etanol no Brasil (em milhões de litros).

Fonte: Resultado do modelo.

A intensificação da produção de etanol pode ser explicada pelas décadas de experiência adquirida na produção e utilização do mesmo desde o lançamento do Pró-Álcool em meados dos anos 1970. Como o Brasil é autossuficiente no abastecimento de petróleo desde 2006, a ampliação da produção de etanol está relacionada ao desenvolvimento e expansão dos automóveis “*flex-fuel*” no país, bem como à discussão internacional sobre a mudança do clima e às tentativas do aumento da produção de energias renováveis com

consequente diminuição das emissões de GEEs, como os obtidos com a introdução das políticas CP1 e CP2.²⁹

O avanço na produção de fontes limpas de energia, bem como o impacto da adoção de uma meta de redução de emissões provocadas pelo desmatamento, pode também ser observado pela mudança no uso da terra, conforme apresentado pelas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – Variação em áreas (mil ha) com a introdução de CP1 em relação ao CR.

Áreas	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-402	-1046	-2395	-4399	-6743	-9404	-13001	-17583
Pastagens	-465	-1233	-2232	-3420	-3992	-4731	-7460	-10843
Silvicultura	562	1172	2154	3455	3758	3904	2881	1599
Pastagens naturais	0	0	0	0	0	0	3553	8709
Floresta natural	256	999	2310	4165	6716	9892	13626	17675
Bioeletricidade	0	0	-3	-5	-16	-23	0	0
Cana-de-açúcar p/ etanol	49	109	166	204	271	348	403	449
Eólica	0	0	0	0	6	13	-2	-4

Fonte: Resultado do modelo.

Os resultados obtidos indicam um aumento considerável das áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para produção de etanol, aumento este que pode chegar a 403 e 449 mil de hectares, nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. Mas não apenas a produção do etanol fora beneficiada pela introdução da política CP1. Outros setores, como o silvícola, e as áreas de pastagens e florestas naturais, receberam os benefícios desta política. Os aumentos em área em relação ao cenário de referência podem chegar a 1.599, 8.709 e 17.675 mil hectares em 2050, respectivamente. Portanto, a introdução da política CP1 se mostrou eficaz na preservação de áreas nativas de florestas e pastagens naturais, bem como em incentivar o desenvolvimento de atividades relacionadas ao manejo sustentável como as implementadas pelo setor silvícola.

Ainda, as perdas de áreas de atividades relacionadas aos setores de culturas e pastagens, quando comparadas ao cenário de referência, podem ser explicadas pela perda de

²⁹ Ressalta-se que o modelo não considera a possibilidade de crescimento das exportações de etanol, ou seja, adota-se como pressuposição que as restrições comerciais às exportações desse produto devem persistir nas próximas décadas. Ainda, o crescimento da produção de etanol no modelo acaba sendo limitado por dois aspectos importantes: o fato de uma parcela do etanol brasileiro ser consumido de forma complementar à gasolina (petróleo refinado) e o uso de uma elasticidade de substituição relativamente modesta, de 3, entre o etanol e a gasolina. A falta de estudos que estimem tal elasticidade levou à adoção de um valor relativamente baixo para a mesma, se considerarmos que esses combustíveis são substitutos perfeitos para a frota de automóveis *flex-fuel*.

competitividade destes setores expressa pela redução da produção e exportações dos mesmos, bem como pelo aumento de suas importações.

A introdução da política CP2 acarretou em mudanças significativas da magnitude das variações das áreas analisadas. As áreas destinadas à silvicultura e florestas naturais apresentaram expansões de menor magnitude com adoção de metas de redução de emissões menos restritivas (CP2), conforme a Tabela 14. A não consideração das metas para o desmatamento permite que sejam realizadas reduções de emissões menos intensas, o que implica em perdas de áreas agrícolas menos expressivas, como as verificadas nos setores de culturas e pastagens.

Ainda, as áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para etanol, silvicultura e pastagens naturais apresentaram expansões mais pronunciadas com a política CP2. O aumento de áreas para o cultivo de cana-de-açúcar está relacionado ao crescimento da produção de etanol, o qual surge como uma opção de combustível de baixa intensidade em emissões utilizado em larga escala pelo setor de transportes, deste modo, implicando na conversão de novas áreas.

Já o setor de silvicultura, que entre os setores agrícolas fora o menos afetado pela política, por não emitir metano nem óxido nitroso, pode tirar vantagem das perdas de produção e áreas apresentadas pelos setores de culturas e pecuária, aumentando sua produção e consequentemente sua área.

As pastagens naturais por sua vez, exibem um comportamento distinto das demais áreas, pois, apresentam perdas no CR devido à pressão da expansão da agricultura sobre áreas de vegetação natural. A agricultura (aqui representada pelos setores de culturas e pecuária) sofre os impactos das políticas de forma mais intensa, o que implica na necessidade de menos áreas para sua expansão, possibilitando a preservação de mais áreas de pastagens naturais³⁰. Deve-se ressaltar ainda que, em CP2 as pastagens naturais são ligeiramente mais preservadas que em CP1, uma vez que o desmatamento de florestas é permitido naquele cenário, o que supre a necessidade de expansão da área agrícola (impulsionada pela expansão da cana-de-açúcar e da silvicultura) sem precisar converter áreas de pastagens naturais para a agricultura.

³⁰ Na verdade, as áreas de pastagens naturais não estão aumentando nos cenários de políticas, mas sim, diminuindo no cenário de referência. Como essas áreas são mais preservadas nos cenários de políticas, estas crescem em relação ao cenário de referência.

Tabela 14 – Variação em áreas (mil ha) com a introdução de CP2 em relação ao CR.

Áreas	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-383	-951	-2215	-4131	-6191	-8546	-11554	-15327
Pastagens	-308	-476	-696	-1015	-406	892	272	-1440
Silvicultura	528	1033	2162	3868	4706	5137	4689	3926
Pastagens naturais	0	0	0	0	0	0	3553	9371
Floresta natural	113	281	576	1063	1599	2135	2586	2949
Bioeletricidade	0	1	-1	-1	-5	-3	0	0
Cana-de-açúcar p/ etanol	50	112	174	215	294	381	455	522
Eólica	0	0	0	0	4	3	0	-1

Fonte: Resultado do modelo.

Os ganhos de áreas apresentados pelas florestas naturais com a política CP1, que em 2050 poderá representar 17.675 mil hectares em relação ao CR, com a introdução de CP2 se reduzem para ganhos de apenas 2.949 mil hectares, também em 2050. Este quadro indica a necessidade do estabelecimento de políticas que levem em consideração o controle do desmatamento como forma de preservar grandes áreas de florestas e campos naturais, e que estimulem o desenvolvimento de fontes de energia renováveis, conforme expresso pela variação das áreas destinadas à cana-de-açúcar para produção de etanol, produção de energia eólica, entre outros.

Os resultados do modelo também permitem a avaliação do desempenho econômico do país mediante a análise de sua Balança Comercial, a qual permite verificar quais setores foram impactados de forma mais expressiva com a introdução de políticas de redução de emissões. Essa análise possibilita ainda assinalar os eventuais ganhos ou perdas de competitividade entre os setores. Assim, os dados referentes aos setores de culturas, pastagens, indústrias de alimentos, intensivos em energia e transportes apontam um aumento das importações e redução das exportações, indicando perda de competitividade destes setores com a introdução das políticas simuladas. Ao passo que os setores de silvicultura, serviços e de outras indústrias apresentaram uma redução das importações e um aumento das exportações, o que indica ganho relativo de competitividade destes com a introdução das políticas simuladas, conforme as Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Variação das importações brasileiras com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	0,91	2,11	4,86	8,84	10,54	11,54	11,94	11,79
Pecuária	0,93	2,13	5,90	16,72	35,13	61,32	92,99	129,06
Silvicultura	0,00	0,00	-8,33	-7,69	-11,76	-19,05	-18,52	-20,59
Ind. de alimentos	0,41	0,76	1,94	4,55	7,99	12,40	17,07	21,93
Produção de carvão	-6,94	-16,00	-20,38	-27,54	-33,16	-37,09	-41,97	-46,69
Refino de petróleo	-2,44	-8,55	-13,77	-18,03	-19,42	-17,59	-20,26	-23,57
Gás	-6,15	-15,17	-21,40	-30,32	-38,78	-45,80	-53,13	-60,00
Eletricidade	-0,04	-0,23	-0,71	-1,42	-2,07	-2,71	-3,54	-4,47
Set. intens. energia	0,74	1,50	2,01	2,45	3,02	3,75	4,19	4,50
Outras indústrias	-0,37	-1,13	-1,69	-2,60	-3,36	-4,18	-5,49	-6,98
Serviços	-0,63	-1,73	-2,43	-3,42	-4,19	-5,00	-6,33	-7,84
Transportes	6,33	14,76	17,49	25,94	34,04	43,18	52,19	60,89

Fonte: Resultados do modelo.

A introdução de metas de redução de emissões expressas pelas políticas CP1 e CP2, impôs novos custos aos setores de culturas e pecuária, que representam a agropecuária brasileira. Assim, a necessidade de pagar o imposto ao carbono leva à perda de competitividade destes setores, expressa pelo aumento das importações, redução das exportações e pela perda de áreas apresentada pelos mesmos (Tabelas 13 e 14).

A indústria de alimentos por sua vez, também segue o padrão de redução das exportações e aumento das importações apresentado pelos setores de culturas e pecuária, em decorrência da interdependência existente entre esses, principalmente em relação à utilização de produtos agropecuários como insumos intermediários. Assim, grande parte da perda de competitividade da indústria de alimentos pode ser explicada pelo desempenho desfavorável apresentado pela agricultura brasileira, excetuando o setor de silvicultura.

Tabela 16 - Variação das exportações brasileiras com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-1,58	-3,55	-7,98	-14,32	-17,89	-20,9	-23,35	-25,35
Pecuária	-1,59	-3,72	-10,39	-24,66	-41,69	-57,26	-69,34	-77,75
Silvicultura	0,00	-1,89	1,69	10,29	18,18	28,57	29,03	30,00
Ind. de alimentos	-0,74	-1,50	-3,87	-8,46	-14,01	-20,43	-26,66	-32,56
Refino de petróleo	-0,54	5,83	9,70	13,46	9,04	-4,63	-6,65	-7,3
Set. intens. energia	-1,78	-3,63	-5,08	-6,29	-7,76	-9,54	-10,82	-11,91
Outras indústrias	0,64	1,93	2,86	4,54	5,97	7,53	10,06	13,02
Serviços	1,06	2,90	3,97	5,69	7,04	8,52	10,95	13,78
Transportes	-11,88	-24,74	-28,49	-38,02	-45,57	-52,58	-58,38	-63,19

Fonte: Resultados do modelo.

Outros dois setores que também apresentaram perda de competitividade são os de transportes e intensivos em energia, pois, quando comparadas as exportações e importações obtidas com a implementação das políticas CP1 e CP2 em relação ao cenário de referência, verificam-se saldos extremamente desfavoráveis à balança comercial brasileira. O setor de transportes, por exemplo, chega a apresentar reduções de exportações da ordem de 58,38% e 63,19% nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. Ainda, para o mesmo período as importações apresentam um crescimento de 52,19% e 60,89% em relação ao cenário de referência. Os números para os setores intensivos em energia são menos acentuados, mas também indicam perda de competitividade, conforme mostrado pelas Tabelas 15 e 16.

Já os setores de silvicultura, serviços e outras indústrias apresentaram ganhos de competitividade com a introdução das políticas consideradas. No final do período de simulação, o crescimento das exportações do setor silvícola pode chegar a 30% em relação ao cenário de referência, enquanto a queda das importações pode atingir o valor máximo de 20,59%, no último período considerado.

Cabe destacar o comportamento distinto do setor de refino de petróleo em relação aos demais setores analisados, apresentando queda das importações e uma reversão de sinal associada às exportações, com crescimento nos primeiros anos e redução na segunda metade do período considerado. A avaliação do desempenho deste setor é mais complexa, pois, com a introdução das políticas, sua produção é reduzida consideravelmente, uma vez que o mesmo responde por uma parcela considerável das emissões brasileiras de GEEs. Assim, a restrição das emissões desestimula o consumo e a produção de produtos derivados de petróleo, o que leva a uma redução dos níveis de preços e das importações, fazendo com que parte da produção doméstica seja exportada. Mas ao final do período de simulação o quadro de exportações se altera, uma vez que se torna mais vantajoso a exportação do petróleo bruto, pois o refino incorre em impostos às emissões cada vez mais elevados.

Não obstante, uma análise mais detalhada do setor energético requer a avaliação da produção e demanda do mesmo, o que permitirá uma melhor compreensão da origem das reduções de emissões apresentadas por determinadas agregações ligadas ao setor energético, bem como uma avaliação mais pontual da sensibilidade do mesmo às políticas adotadas, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Variação da produção de energia com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).

Fontes de Energia	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Carvão	-2,83	-6,45	-8,07	-10,76	-12,98	-14,29	-15,88	-17,44
Petróleo	0,15	-1,81	-3,17	3,25	-1,60	1,73	2,26	2,40
Refino de petróleo	-2,52	-4,59	-7,42	-9,47	-12,87	-18,04	-21,35	-24,48
Gás	-3,32	-7,86	-10,82	-15,17	-19,16	-22,34	-25,50	-28,48
Termo-eletricidade	-2,96	-6,06	-9,70	-13,51	-17,79	-22,41	-25,96	-29,36
Nuclear	0,00	0,00	0,69	0,00	0,64	0,00	0,60	0,58
Hidroelétrica	0,20	0,42	0,41	0,36	0,39	0,50	0,63	0,78
Eólica	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	2,33	0,00	-0,46
Bioeletricidade	0,00	0,81	0,74	0,67	-1,47	-6,25	0,00	0,00
Etanol	2,13	4,83	7,19	9,16	11,26	13,47	15,30	17,06

Fonte: Resultado do modelo.

Uma primeira avaliação dos resultados do modelo permite concluir que não houve diferenças expressivas entre os resultados das políticas CP1 e CP2, em termos de produção de energia³¹. Ainda, verificou-se que setores intensivos em emissões como o de produção de carvão, refino de petróleo, gás e termo-elétrico sofreram maiores reduções na oferta de energia, ao passo que os setores de energia nuclear, hidroelétrica, eólica, bioeletricidade e etanol aumentaram suas participações na oferta doméstica de energia, uma vez que as políticas aplicadas aumentaram o preço final das fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis. Nas simulações realizadas, alguns setores apresentaram um crescimento substancial, como é o caso da produção de etanol, que cresceu em relação ao cenário de referência 15,30% e 17,06% nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. O desempenho da produção de etanol ajuda a compreender a grande redução em emissões com um reduzido impacto em termos de sacrifício do PIB, pois, as políticas simuladas favorecem o aprofundamento do padrão energético brasileiro (com predomínio de fontes energéticas renováveis).

A Figura 14 apresenta os impactos sobre a demanda por energia de combustíveis fósseis e eletricidade, com a introdução das metas de redução de emissões. Pode-se observar que todas as fontes de energia tiveram suas demandas reduzidas após a introdução das políticas CP1 e CP2 em comparação com o cenário de referência, no qual não existem restrições. Entretanto, deve-se ressaltar que as demandas por combustíveis fósseis, quais sejam petróleo, gás e carvão, foram as que apresentaram as maiores reduções percentuais (23,03%; 38,43% e 43,48% em 2050, respectivamente) com a política CP1.

³¹ Como os resultados das políticas CP1 e CP2 foram semelhantes, optou-se por apresentar apenas os resultados referentes à política CP1. Entretanto, os resultados para a política CP2 encontram-se na Tabela 33 do Apêndice C.

Figura 14 – Variação da demanda de energia por fonte com CP1 em relação ao CR (em %).
Fonte: Resultado do modelo.

Em contraposição, a demanda de energia elétrica apresentou reduções percentuais menos intensas, de; 3,40% e 4,43% com a política CP1 em 2045 e 2050, respectivamente. Esse resultado é consequência da capacidade deste setor de utilizar fontes renováveis, o que implica em menor custo no seu consumo. Mesmo com o menor custo, a demanda por energia elétrica cai, evidenciando um efeito renda negativo com a introdução da política de redução de emissões.

Destarte, uma parcela considerável da redução da demanda por energia verificada na Figura 14 pode ser explicada pelo esforço realizado por alguns dos setores analisados em internalizar os custos gerados com as restrições às emissões, afetando seus níveis de atividade, bem como o PIB nacional.

De forma a analisar as mudanças na produção de energia elétrica, pode-se verificar como a composição da oferta desta é afetada pelas políticas. Em relação ao cenário de referência, a parcela de energia elétrica proveniente de combustíveis fósseis é reduzida consideravelmente, com destaque para as fontes de carvão, petróleo e gás que podem chegar a ter suas participações reduzidas em 31,89%; 27,30% e 29,48% em 2050, respectivamente, conforme a Figura 15.

Figura 15 – Variação da produção de energia elétrica com CP1 em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

Já a produção de energia elétrica através de fontes nuclear, hidroelétrica, eólica e bioelétrica apresentaram crescimento em relação ao cenário de referência, o que indica uma intensificação da utilização de fontes de energia “limpa” de baixo conteúdo de carbono. Dessa forma, a matriz energética brasileira que já é intensiva em fontes de baixo conteúdo de carbono poderá intensificar ainda mais a utilização de tais fontes com a adoção das metas de redução de emissões.

A análise do desempenho dos setores produtivo, energético, bem como dos preços e da balança comercial possibilita uma melhor compreensão dos impactos das políticas de redução de emissões sobre a economia brasileira. Assim, a avaliação do comportamento destes indicadores serve de base para o entendimento dos resultados apresentados pelo PIB e seus componentes³².

Nesse sentido, observa-se que a introdução de metas setoriais de redução das emissões e controle do desmatamento, expressa pela política CP1 ou apenas o estabelecimento de metas setoriais como representado por CP2, gera quedas no nível agregado de atividade da economia, contudo, com diferenças pouco expressivas entre os dois cenários, conforme a Tabela 18.

³² Para maiores detalhes acerca dos resultados sobre os componentes do PIB, ver Tabelas 38-41 do Apêndice C.

Tabela 18 - PIB brasileiro em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.

Anos	Em termos absolutos			Em termos percentuais		
	CR	CP1	CP2	CR*	CP1	CP2
2004	611,3	611,3	611,3	-	0,00	0,00
2005	692,3	692,3	692,3	13,25	0,00	0,00
2010	830,7	830,7	830,7	19,98	0,00	0,00
2015	1003,5	1002,3	1002,3	20,80	-0,12	-0,12
2020	1151,9	1148,4	1148,4	14,79	-0,30	-0,30
2025	1333,1	1326,9	1327,0	15,73	-0,47	-0,46
2030	1539,2	1528,5	1528,6	15,46	-0,69	-0,69
2035	1778,3	1762,0	1762,0	15,53	-0,92	-0,92
2040	2044,8	2020,8	2020,9	14,98	-1,17	-1,17
2045	2358,2	2323,1	2323,3	15,33	-1,49	-1,48
2050	2719,5	2669,4	2669,9	15,32	-1,84	-1,82

Fonte: Resultado do modelo.

* Variação em relação período anterior.

A partir do primeiro ano da vigência das políticas até o último período analisado, o PIB brasileiro apresentou ligeiras reduções percentuais em relação ao cenário de referência, podendo atingir perdas da ordem de 1,49% e 1,84% nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. Essas perdas podem ser explicadas, como destacado anteriormente, pela redução da produção e perda de competitividade de setores importantes para a economia como a agropecuária, bem como pela queda na renda das famílias.

Ainda, a maior parte das atividades relacionadas aos setores de combustíveis fósseis ou fontes energéticas intensivas em emissões apresentou perdas significativas com a introdução das políticas simuladas contribuindo com o desempenho apresentado pelo PIB brasileiro.

Foram calculadas também, as perdas anuais do PIB acumuladas até 2050 em valor presente. Para isso, utilizaram-se três taxas de desconto distintas: 0,5%; 1% e 3% ao ano. Deste modo, foi possível verificar que a introdução da política CP1 gera perdas de 0,81% a 1,99% do PIB de 2004, ao passo que as perdas com CP2 variam entre 0,81% e 1,98%; em relação ao PIB do mesmo período. Assim, se os custos com a introdução da política CP1 até 2050 fossem antecipados para hoje, a uma taxa de desconto intertemporal de 1% ao ano, por exemplo, as perdas em termos do PIB ficariam em US\$ 10,12 bilhões de 2004, o que representaria 1,65% do PIB do mesmo período. Com CP2, o montante seria de US\$ 10,06 bilhões, ou seja; 1,64% do PIB de 2004.

No entanto, o sacrifício a ser realizado pelo país em termos de perdas do PIB não se revela expressivo, ou seja, a introdução de medidas de redução de emissões pouco altera a

trajetória de crescimento da economia. Além disso, este desempenho econômico pode ser explicado por uma matriz energética intensiva em fontes de energia “limpa”, que torna o país mais resiliente a eventuais choques como a imposição de restrições às emissões.

O ganho de importância de tais fontes energéticas alternativas pode ser evidenciado pelo aumento da produção de etanol (crescimento médio de 33,6% no período analisado) e pelos consecutivos aumentos de áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para o etanol, ou mesmo pelo crescimento da geração de energia hidrelétrica em detrimento da produção de combustíveis fósseis e demais fontes intensivas em emissões.

Não obstante, uma análise mais profunda do PIB, mais especificamente, de seus componentes permite uma melhor avaliação dos resultados obtidos. Nesse sentido, pode ser verificado que o componente de consumo foi impactado negativamente pelas políticas adotadas, apresentando perdas percentuais em relação ao cenário de referência em todos os períodos analisados após a introdução das políticas, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Variação do consumo em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

Apesar disso, as perdas de consumo foram pouco expressivas levando a reduções da ordem de 0,59% e 0,80%, nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. Destarte, a leve redução do consumo tem sua explicação pautada no aumento das distorções de preços pela aplicação de um novo imposto à economia. Tais distorções afetam o orçamento dos consumidores, ao impactar bens e serviços, alimentos e transportes bem como suas rendas, ao diminuir a demanda total pelos fatores de produção na economia (trabalho e capital).

Outro componente do PIB de grande importância para a avaliação do desempenho econômico corrente e futuro são os investimentos. As simulações realizadas acarretaram em

reduções percentuais dos níveis de investimento para as duas políticas em relação ao cenário de referência (Figura 17).

Figura 17 – Variação dos investimentos em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

As perdas do componente investimento se mostraram relativamente maiores às apresentadas pelo consumo. A redução dos investimentos pode ser explicada pelo aumento dos preços de setores importantes da economia como culturas, pecuária, indústria de alimentos, setores intensivos em energia e transportes e pela perda de competitividade dos mesmos, expressa pelo aumento das importações e redução das exportações, portanto, exercendo influência direta sobre a demanda doméstica e exportações líquidas o que pode desestimular o lançamento de novos projetos de investimento. Vale ressaltar que a propensão marginal a poupar no modelo é constante, o que torna a trajetória de queda nos investimentos bem similar à de redução no consumo.

Os gastos do governo, que poderiam por sua vez ser utilizados para atenuar o arrefecimento econômico expresso pela redução dos níveis de consumo e investimento, também apresentaram reduções percentuais em relação ao cenário de referência, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Variação dos gastos do governo em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

A redução dos gastos do governo pode alcançar valores da ordem de 2,58% e 2,99% nos anos de 2045 e 2050, respectivamente. Dentre os fatores que contribuíram com a redução dos gastos governamentais pode-se destacar a redução da arrecadação de tributos em decorrência do menor dinamismo econômico, o que propiciou a redução de gastos por parte do governo tendo em vista a manutenção do equilíbrio orçamentário.

Ainda, cabe destacar a contribuição das exportações líquidas para a compreensão do desempenho do PIB brasileiro, pois, tanto as exportações como as importações apresentaram perdas percentuais quando introduzidas as políticas CP1 e CP2, em relação ao cenário de referência, conforme a Figura 19.

Figura 19 – Variação das exportações líquidas em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

O desempenho das exportações líquidas pode ser explicado pela redução das importações que se mostrou mais acentuada que a redução das exportações, o que de certa forma ajuda a atenuar o impacto negativo do saldo da Balança Comercial sobre o PIB.

Por fim, os resultados obtidos também mostram que a introdução de metas de redução de emissões, implementadas a partir de 2015, implicará em reduções dos níveis de bem-estar³³ econômico, em relação ao cenário de referência (Figura 20).

Figura 20 – Variação do bem-estar em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

Observa-se que a inclusão de metas de redução do desmatamento, como as representadas por CP1, trouxeram perdas modestas em bem-estar para o Brasil, ou seja, o esforço no sentido de enquadramento com as metas de Copenhague é benéfico, pois, espera-se que as maiores perdas, em termos de bem-estar, atinjam valores da ordem de 0,59% e 0,80% em 2045 e 2050, respectivamente, caso o país continue o ritmo de redução em emissões previsto para 2020. Dessa forma, os resultados do modelo apontam que adoção de metas de redução das emissões de GEEs não implicará em grandes perdas econômicas e sociais para o Brasil em relação à redução em emissões que se espera a partir dessas metas, de cerca de 51% a 54% em relação ao cenário de referência. Este quadro pode ser explicado pelo desempenho de alguns setores como o de fontes de energia renováveis, os quais ajudaram a compensar os resultados negativos apresentados por setores intensivos em combustíveis fósseis. Cabe ressaltar que outros fatores foram decisivos para que o impacto das políticas sobre o bem-

³³ O bem-estar econômico está expresso em termos de variação equivalente, tal medida procura indicar o aumento na utilidade dos consumidores domésticos, em termos de aumento do consumo. Mais formalmente, a variação equivalente expressa a mudança na renda necessária para que se mantenha o mesmo nível de utilidade, aos preços de equilíbrio inicial, quando o consumidor enfrenta um novo conjunto de preços. Portanto, observam-se aumentos de bem-estar para valores positivos e redução de bem-estar para valores negativos.

estar fosse reduzido, como o barateamento dos preços de bens e serviços de setores para os quais a economia brasileira se mostrou mais competitiva com a introdução das políticas, como os setores de serviços, outras indústrias e silvícola³⁴.

4.3 Comparações dos Resultados

Os resultados do modelo mostraram que as políticas introduzidas foram eficazes em reduzir de forma considerável as emissões brasileiras e a participação do país no total emitido mundialmente. Nos cenários simulados, relativamente a um cenário sem a adoção das políticas, podem ser obtidas reduções totais nas emissões brasileiras da ordem de 50,89% e 53,73% nos anos de 2045 e 2050, respectivamente.

No entanto, as consequências dessas políticas podem ser sentidas em diversos setores e em magnitudes diferentes. Um exemplo disso são os impactos sobre o bem-estar econômico. Este apresentou perdas em todos os períodos analisados, contudo, relativamente modestas que não chegam a atingir 1% em 2050. Assim, as conclusões acerca do bem-estar econômico, obtidas a partir dos resultados do Modelo EPPA, coincidem com as conclusões de Feijó e Porto Jr. (2009), os quais observaram redução do bem-estar econômico em todos os cenários simulados. Deve ressaltar, contudo, que aqueles autores consideraram políticas de redução de emissões em vários países do mundo, com possibilidade de comércio internacional de permissões. Dessa forma, observaram um fluxo positivo de renda gerada pela venda de permissão de emissões para outros países (que atenuou a queda do bem-estar), o que o presente trabalho não considera.

Outro aspecto importante está relacionado à análise do nível de atividade econômica (PIB), a qual aponta uma ligeira redução do dinamismo econômico do país, podendo atingir reduções de 1,49% e 1,84% nos anos de 2045 e 2050, relativamente a um cenário sem as políticas. Este desempenho da economia brasileira está atrelado à perda de competitividade de setores importantes para o país como a agricultura, transportes e intensivos em energia. Destarte, os resultados obtidos corroboram as conclusões de diversos trabalhos como os de Tourinho, Motta e Alves (2003), Lopes (2003), Feijó e Porto Jr. (2009), Moraes (2010) e do

³⁴ O Apêndice B apresenta algumas análises de sensibilidade simples sobre os resultados de mudanças em bem-estar e PIB. Em geral, os resultados são robustos a mudanças na trajetória de crescimento dos países e a aumentos nas elasticidades de substituição do modelo. Contudo, os custos das políticas em termos de bem-estar e PIB são sensíveis a reduções nas elasticidades de substituição.

estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades (2010). O trabalho de Moraes (2010), por exemplo, com a introdução de um de seus cenários, indica uma queda líquida de 0,28% do PIB real em relação a 2005 (período de referência), o que pode ser explicado pelos impactos das políticas consideradas sobre as culturas agrícolas de diversas regiões do país como Nordeste e Centro-Oeste.

Já o estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades (2010) indica que as maiores reduções de emissões de GEEs são provenientes de setores que apresentam as maiores quedas do nível de atividade como os de derivados do uso de carvão, GLP, petróleo e gasolina (setores intensivos em emissões), ao passo que, setores de alimentos, pecuária e serviços foram relativamente beneficiados com a imposição de uma taxa sobre o carbono. Estes resultados não estão em consonância com os obtidos pelo presente trabalho, o qual observa a perda de dinamismo do agronegócio, pois, os setores de culturas, alimentos e pecuária não foram beneficiados pelas políticas introduzidas, pelo contrário, apresentaram perda de competitividade e até mesmo de áreas, como expresso pela variação das áreas de Pastagens. A diferença nos resultados pode estar relacionada à não consideração de reduções em emissões proveniente do desmatamento no primeiro trabalho, o que indiretamente limitaria a expansão da agropecuária.

A ocupação das terras foi aqui representada de acordo com as atividades desenvolvidas, o que permitiu observar que a introdução das políticas favoreceu a preservação de extensas áreas de florestas e pastagens naturais. Além disso, constatou-se um aumento considerável de áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para etanol, o que é corroborado pelo crescimento expressivo da produção de etanol. Este resultado está em conformidade com as avaliações do estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades (2010), o qual estima um crescimento da área de cana no Brasil em aproximadamente de 19 milhões de hectares no cenário A2-BR e de 17,8 milhões de hectares em B2-BR, partindo dos 4,2 milhões de hectares.

Ainda, os resultados obtidos com a implementação do Modelo EPPA indicam aumento dos preços de gêneros alimentícios, da mesma forma que os trabalhos de Ferreira Filho e Rocha (2007) e Moraes (2010). Os aumentos de preços de produtos da indústria de alimentos e do setor de culturas, verificados através do EPPA, podem chegar a 8,66% e 7,44% em 2050, respectivamente, tendo um impacto direto sobre o orçamento dos consumidores.

Portanto, de forma geral os resultados obtidos com a simulação das metas de redução das emissões de GEEs para o Brasil corroboram os resultados dos demais trabalhos avaliados, pois, indicam: ligeira redução do nível de atividade e do bem-estar econômico, ganhos de

competitividade de setores intensivos em fontes renováveis de energia, bem como a perda de competitividade de atividades intensivas em combustíveis fósseis, o que evidencia uma realocação de fatores na economia. Ainda, os resultados mostraram que o país pode reduzir suas emissões de GEEs de forma mais expressiva com o estabelecimento de políticas que levem em consideração o controle do desmatamento, o que não implicará em maiores custos. Em relação aos estudos acima citados, o presente estudo avança na análise por ser capaz de considerar restrições às emissões provenientes do desmatamento e de outros gases de efeito estufa que impactam a agricultura, bem como representar as mudanças no uso da terra ao longo do tempo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta dissertação foi avaliar os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. Mais especificamente, verificou-se como determinadas variáveis econômicas respondem à simulação de algumas políticas de mitigação das mudanças climáticas por parte do Brasil. Para alcançar tal objetivo, a dissertação foi dividida em quatro capítulos além deste.

No primeiro capítulo, foi analisado o cenário recente de discussão do problema climático, bem como seus efeitos sobre os ecossistemas, assentamentos humanos, economias, saúde, entre outros. Foram destacados alguns dos principais resultados das discussões internacionais acerca da mudança do clima, bem como a experiência de diversos estados e países no enfrentamento das questões climáticas, com destaque para os estados norte-americanos da Nova Inglaterra e Califórnia, que exerceram influência direta sobre o Brasil quanto à criação de legislações climáticas.

O Brasil tem um papel de destaque neste quadro, a começar pelas políticas climáticas aprovadas pelos estados de Santa Catarina, Amazonas, Minas Gerais, Tocantins e São Paulo, estabelecendo até mesmo, como no caso deste último, metas de redução de emissões de GEEs. Outro aspecto relevante diz respeito à principal fonte de emissões do Brasil, as mudanças do uso da terra e florestas, que estão atreladas ao desmatamento de grandes extensões de terra, principalmente dos biomas Cerrado e Amazônia. Ainda, destacou-se a descoberta de grandes reservas petrolíferas que tornaram o país um possível grande emissor de GEEs. Somado a isto, considerou-se também o grande potencial de exportação de créditos de carbono do país, que hoje já ocupa a terceira posição no ranking mundial de projetos de MDL em andamento. Tais fatos fazem do Brasil um país chave no enfrentamento das questões climáticas vigentes.

No Capítulo 2, fundamentou-se o problema de pesquisa dentro do arcabouço da teoria econômica, realizando uma revisão teórica sobre o assunto. As mudanças climáticas foram avaliadas numa perspectiva microeconômica, enfatizando-se o surgimento de falhas de mercados desencadeadas por algumas características dos recursos naturais que os colocam como bens públicos e sujeitos a externalidades econômicas. Além disso, foram elencados diversos estudos nacionais e internacionais que fizeram o esforço de avaliar os impactos econômicos das mudanças climáticas através de modelos aplicados de equilíbrio geral. Tais modelos simulam políticas econômicas designadas para lidar com o problema de

externalidades associados às emissões de GEEs. Foi dada ênfase a estes modelos, pois, são semelhantes ao modelo utilizado neste estudo e estavam mais afinados com os objetivos do presente trabalho.

Optou-se por utilizar um modelo aplicado de equilíbrio geral dinâmico-recursivo, o *Emissions Prediction and Policy Analysis* (EPPA) do MIT para avaliar os possíveis impactos de reduções nas emissões de GEEs no Brasil seguindo as metas afirmadas pelo país em Copenhague. A aplicação de um modelo de equilíbrio geral foi justificada por se esperar que medidas ou políticas exógenas sejam capazes de gerar efeitos de equilíbrio geral na economia. Esse é o caso de políticas de controle de emissões de GEEs, que apresentam em geral um alcance amplo em termos de dimensões geográficas e econômicas.

No Capítulo 3, o modelo utilizado foi apresentado em detalhes. Primeiramente, destacaram-se as interrelações com os demais modelos que compõem o IGSM do MIT. Em seguida, apresentaram-se algumas características dos modelos aplicados de equilíbrio geral e como tais características foram incorporadas pelo modelo EPPA. Posteriormente, foram feitas considerações sobre a estratégia de solução do modelo, sua dinâmica no tempo, as agregações utilizadas e algumas características dos parâmetros adotados para a calibração do mesmo. Por fim, as mudanças no uso da terra e florestas foram representadas, isto é, destacou-se como o setor responsável pela maior parte das emissões de GEEs do Brasil, foi representado no EPPA.

No Capítulo 4 realizou-se a análise dos cenários simulados e dos resultados obtidos. Os principais resultados encontrados indicam que a introdução de metas de redução de emissões a partir de 2015 possibilitou uma mudança na trajetória das emissões brasileiras, ou seja, as políticas foram eficazes em reduzir as emissões de GEEs com destaque para a redução proveniente de desmatamento. Deve-se destacar que nos primeiros anos de vigência da política a redução total de emissões se mostrou pouco acentuada, o que revela uma ambição modesta de redução de emissões nas metas de Copenhague. Este quadro se altera no final da simulação, revelando que se for dada continuidade à tendência de redução em emissões brasileiras conforme as metas comprometidas em Copenhague, o Brasil tende a contribuir de forma expressiva até a metade do século para a redução de emissões.

As consequências econômicas da redução de emissões são distintas entre os setores analisados. Quando avaliados os níveis de produção setorial, verificaram-se perdas consideráveis nos setores de refino de petróleo, gás e produção de carvão, pois, o consumo de energia fóssil encarece com o imposto ao carbono, fazendo com que tais setores sofram de forma mais intensa os efeitos das políticas simuladas. Por outro lado, alguns setores se

tornaram mais competitivos, com a introdução das políticas. Este é o caso da silvicultura, outras indústrias e serviços, os quais apresentaram ganhos percentuais na produção de seus bens e serviços em relação ao cenário de referência.

Quanto à produção de etanol, esta apresenta aumentos expressivos com a implementação das políticas. Estes aumentos podem também ser sentidos em termos de aumento da área cultivada, também verificado no caso de áreas destinadas à silvicultura e florestas naturais, ao passo que os setores de culturas e pastagens sofreram perdas de áreas dentre as categorias de terra analisadas.

As mudanças de áreas também estão associadas aos ganhos e perdas de competitividade. Os setores de culturas, pastagens, indústria de alimentos, intensivos em energia e transportes, por exemplo, sofreram perdas expressivas de competitividade, enquanto os setores de silvicultura, serviços e outras indústrias, foram beneficiados pelas políticas implementadas.

A avaliação destes resultados em termos do nível de atividade econômica permitiu verificar que o sacrifício a ser realizado pelo país em termos de perdas do PIB não se mostrou expressivo, ou seja, a introdução de medidas de redução de emissões pouco altera a trajetória de crescimento da economia, gerando perdas da ordem de 0,30% e 1,84% nos anos de 2020 e 2050 em relação ao cenário de referência, respectivamente. Além disso, este desempenho econômico pode ser explicado por uma matriz energética intensiva em fontes de energia “limpa”, que torna o país mais resiliente a eventuais choques como a imposição de restrições às emissões.

Deve-se destacar o ganho de importância de fontes de energia alternativas, evidenciado pelo aumento da produção de etanol (crescimento médio de 33,6% no período analisado) e pelos consecutivos aumentos de áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para o etanol, ou mesmo pelo crescimento da geração de energia elétrica renovável em detrimento da produção de combustíveis fósseis e demais fontes intensivas em emissões.

Quando analisados os impactos das políticas em termos de bem-estar, observou-se que a inclusão de metas de redução do desmatamento, como as representadas pela política CP1 trouxeram perdas modestas em bem-estar para o Brasil, com reduções de 0,08% em 2020 e 0,80% em 2050 em relação ao cenário de referência. Portanto, o esforço no sentido de enquadramento com as metas de Copenhague é benéfico, pois as perdas de bem-estar serão relativamente pequenas, caso o país continue o ritmo de redução em emissões previsto para 2020. Dessa forma, os resultados do modelo apontam que adoção de metas de redução das emissões de GEEs não implicará em grandes perdas econômicas e sociais para o Brasil.

O estudo permite concluir que os custos de controlar as emissões de GEEs no país são relativamente modestos diante do potencial de redução de emissões, devido em parte à disponibilidade de fontes de energia renovável no país como o etanol de cana-de-açúcar. Tais custos poderiam ser ainda menores caso fosse definida uma única meta de redução para a economia como um todo e os setores pudessem comercializar permissões de emissões entre si, uma vez que os setores possuem diferentes intensidades de emissões. Ainda, os resultados indicam que o controle das emissões provenientes do desmatamento é fundamental para atingir uma redução considerável em emissões, sendo que a meta de Copenhague poderia ser atingida com um imposto relativamente baixo às emissões de desmatamento, de cerca de U\$11/ton. de CO₂ equivalente. Considerando o potencial de redução nas emissões de desmatamento e de produção de combustíveis renováveis, ao mesmo tempo em que o país possui um grande potencial na produção de petróleo com a exploração do pré-sal, é preciso considerar o possível conflito entre a manutenção de uma matriz energética limpa e a possibilidade de ser um grande fornecedor mundial de combustível fóssil. Ainda, torna-se necessário uma definição e um discurso mais afinado entre os diferentes setores do governo e da sociedade quanto à melhor estratégia de desenvolvimento para o país.

Estes resultados não são conclusivos. Extensões do presente trabalho devem considerar a simulação de uma meta única de redução para a economia brasileira como um todo através de um mercado de créditos de emissões, bem como a consideração de questões relativas às políticas climáticas que estão em andamento na União Européia, Estados Unidos e países em desenvolvimento. Ainda, o comércio de emissões pode ser incorporado, seja pela via do mecanismo de REDD ou de MDL, sendo que tais questões são de grande relevância quando se pretende considerar os esforços de mitigação das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMINGTON, P.S. A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. **IMF Staff Papers**, v.16, p. 159-178, 1969.
- BABIKER, M., J. REILLY and H. JACOBY. The Kyoto Protocol and developing countries. **Energy Policy**, v. 28, p. 525-536, 2000.
- BABIKER, M. H.; REILLY, J. M.; MAYER, M.; ECKAUS, R. S.; SUE WING, I. and HYMAN, R. C. **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Revisions, Sensitivities, and Comparisons of Results**. Cambridge, MA: MIT, 2001. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 71).
- BANCO MUNDIAL. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>. Acesso em 15 de junho de 2010.
- BERNARD, A.; PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; VIELLE, M.; VIGUIER, L. **Russia's Role in the Kyoto Protocol**. Cambridge, MA: MIT, 2003. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 98).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.12 v. : il.
- _____. Ministério de Minas e Energia. **Proposta de Modelos Regulatório do Pré-Sal**. Brasília, 2009a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/pre_sal/Apresentaxo_ministro_Pre-sal_Senado_10_09_2009.pdf>. Acesso em 5 de julho de 2010.
- _____. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa** – Informações Gerais e Valores Preliminares. 2009b.
- _____. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal dos Combustíveis 279 Renováveis**, n. 21, Brasília: Departamento de Combustíveis Renováveis, Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, set. 2010a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicacoes.html>> Acesso em 26 de outubro de 2010.
- _____. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Status atual das atividades de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. 2010b. Disponível em: < http://www.mct.gov.br/upd_blob/0209/209706.pdf > Acesso 4 de julho de 2010.
- CEPEA/Esalq-USP. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo. **PIB do Agronegócio – Dados de 1994 a 2008**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 7 de julho de 2010.
- COASE, Ronald. The Problem of Social Costs, **Journal of Law & Economics**, v. 3, p. 1-44, 1960.

- DIMARANAN, B.; MCDUGALL, R. **Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP5 data base**. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, 2002.
- DINIZ, E. M. Lessons from the Kyoto Protocol. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 1, p. 27-38, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. São Paulo, 2008.
- ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL: CUSTOS E OPORTUNIDADES/ editado por Sérgio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch.— São Paulo, IBEP, p. 82, 2010. Disponível em: <<http://www.economiadoclima.org.br>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2010.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). Department of Energy. **Annual Energy Review, 2003**. Washington, DC, 2004.
- FEIJÓ, F. T.; PORTO Jr., S. S. Protocolo de Quioto e o Bem Estar Econômico no Brasil Uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável. **Análise Econômica (UFRGS)**, Porto Alegre, v. 51, p. 127-154, 2009.
- FERREIRA FILHO, J. B. S.; ROCHA, M. T. Avaliação Econômica de Políticas Públicas Visando Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2007, Londrina. **Anais do XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, 2007. p. 1-27.
- FRONDIZI, I. M. R. L. (Coord.). **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação** 2009. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio; FIDES, 2009.
- 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).
- GURGEL, A. C.; REILLY, J. M. and PALTSEV, S. **Potencial Land Use Implications of a Global Biofuels Industry**. Cambridge, MA: MIT, 2008 (Joint on the Science and Policy of Global Change, Report 155).
- HILGEMBERG, Emerson M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto**. 2004. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.
- HURTT, G. C.; FROLKING, S.; FEARON, M. G.; MOORE, B.; SHEVLIAKOVAS, E.; MALYSHEV, S.; PACALA, S. W. and HOUGHTON, R. A. The underpinnings of land-use history: three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1208-1229, 2006.
- HYMAN, C. R.; REILLY, J. M.; BABIKER, M. H.; MASIN, A. D. and JACOBY, H. D. Modeling non-CO₂ greenhouse gas abatment. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 8, p.175-186, 2002.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook: 2004**. OECD/IEA: Paris, 2004.

_____. **Energy Balances of Non-OECD Countries** (2005 edition). OECD/IEA: Paris, 2005.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Estudos sobre o Pré-Sal**. São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.iedi.org.br/admin_ori/pdf/20090112_pre-sal_completo.pdf >. Acesso em 5 de julho de 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto DEGRAD: Mapeamento da degradação florestal na Amazônia**. 2009. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/> >. Acesso em julho de 2010.

INTERNATIONAL MONETARY FUND (IMF). **World Economic Outlook (September)**, Washington DC: International Monetary Fund, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007a. 851 pp. Disponível em: < <http://www.ipcc-wg3.de/publications/assessment-reports/ar4/working-group-iii-fourth-assessment-report> > Acesso em 12 de outubro de 2009.

_____. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007b. 976pp. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg2_report_impacts_adaptation_and_vulnerability.htm > Acesso em 12 de outubro de 2009.

JACOBY, H. D.; ELLERMAN, A. D. The safety valve and climate policy. **Energy Policy**, v. 32, n. 4, p. 481-491, 2004.

JEHLE, G. A; RENY, P. J. **Advanced Microeconomic Theory**, 2006.

JONES, P. D.; PARKER, D. E; OSBORN, T. J.; BRIFFA, K. R. **Global and hemispheric temperature anomalies—land and marine instrumental records**. Oak Ridge, Tenn.: Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2010. doi: 10.3334/CDIAC/cli.002

LAHIRI, S.; BABIKER, M.; ECKAUS, R. S. **The Effects of Changing Consumption Patterns on the Costs of Emission Restrictions**. Cambridge, MA: MIT, 2000. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 64).

LIMA, Rodrigo C. A. **São Paulo, a Califórnia Brasileira**. São Paulo: 2010. Disponível em: <http://www.sociedadesustentavel.com.br/integra.php?id=1455> > Acesso em 17 de maio de 2010.

LOPES, Ricardo L. **Efeitos de uma restrição na emissão de CO₂ na economia brasileira**. 2003. 170 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LOTT, N.; ROSS, T. **Tracking and Evaluating U.S. Billion Dollar Weather Disasters, 1980-2005** (National Climatic Data Center, NOAA, Asheville, North Carolina, 2007). Disponível em: <http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/papers/200686ams1.2nlfree.pdf> >. Acesso em 12 de julho de 2010.

- MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. In: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. (Org.). **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: DaGema Comunicação, 2009, v.1, p. 5-19.
- MARLAND, G.; BONDEN, T. A.; ANDRES, R. J. **Global, Regional and National CO₂ Emissions**. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., 2002.
- MAS-COLLEL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic theory**. New York: Oxford University Press, 1995.
- MORAES, G. I. **Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável**. 2010. 103 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. O Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no mecanismo de desenvolvimento limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008.
- NORDHAUS, W. **The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy in the DICE-2007 Model**. Manuscript, may 2007.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Mudança Climática e Saúde: um perfil do Brasil**. Brasília, DF, 2009.
- PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; TAY, K. H. **The Cost of Kyoto Protocol Targets: the Case of Japan**. Cambridge, MA: MIT, 2004. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 112).
- PALTSEV, S.; REILLY, J.; JACOBY, H.; ECKAUS, R.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M. *et al.* **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4**. Cambridge, MA: MIT, 2005. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 125) Disponível em: <http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt125.pdf> Acesso em 12 de setembro de 2009.
- PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; MORRIS, J. F. **The Cost of Climate Policy in the United States**. Cambridge, MA: MIT, 2009. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 173) Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Rpt173.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2009.
- PYNDICK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. São Paulo: Prentice-Hall, 2002.
- ROCHA, Marcelo T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 196 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, jan. 2003.

- RUTHERFORD, Thomas. F. Extensions of GAMS for Complementarity Problems Arising in Applied Economic Analysis, **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 19, n. 8, p. 1299-1324, 1995.
- _____. Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax. **Computational Economics**, v. 14, n.1, p. 1-46, 1999.
- SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. L. Applied General Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey, **Journal of Economic Literature** v. 22, p. 1007-1051, 1984.
- SOKOLOV, A. P.; SCHOLSSER, C. A.; DUTKIEWICZ, S.; PALTSEV, S.; KICKLIGHTER, D. W.; JACOBY, H. D.; PRINN, R. G.; FOREST, C. E.; REILLY, J.; WANG, C.; FELZER, B.; SAROFIM, M. B.; SCOTT, J.; STONE, P. H.; MELILLO, J. M.; COHEN, J. **The MIT Integrated Global System Model (IGSM) Version 2: Model Description and Baseline Evaluation**. Cambridge, MA: MIT, 2005. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 124).
- SOHNGEN, B. **Global Timber Market and Forestry data Project**. 2007. Disponível em: <<http://www.wagecon.ag.ohio-state.edu/people/sohngen.1/forests/GTM/data1.htm>>. Acesso em 12 de maio de 2010.
- TOURINHO, O. A. F.; DA MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. **Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. Texto para discussão n. 976. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf> . Acesso em 10 de outubro de 2009.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Clean Development Mechanism**. 2010. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int>>. Acesso em 11 de julho de 2010.
- UNITED NATIONS (UN). **Long-Run World Population Projections: Based on the 1998 Revision**. New York, 2000.
- _____. **World Population Prospects: The 2000 Revision**, Data in digital form. New York: Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001.
- VARIAN, H. R. **Microeconomia: conceitos básicos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- VIGUIER, L.; BABIKER, M.; REILLY, J. The costs of the Kyoto Protocol in the European Union. **Energy Policy**, v. 31, n. 5, p. 393-483, 2003.
- VIOLA, E. J. [The international regime on climate change and Brazil](#). **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, vol.17, n. 50, p. 26-46, 2002.
- _____. [Brazil in the context of global governance politics and climate change, 1989-2003](#). **Ambiente & Sociedade**, vol.7, n. 1, p. 27-46, 2004.
- _____. **A Agenda Internacional sobre o Clima: As Negociações e a Posição Brasileira**. In: FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (FBDS). (Org.). Rio de Janeiro: DaGema Comunicação, 2009.

WING, I. S. **Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis**. Cambridge, MA: MIT, 2004 (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2004. Technical Note 6).

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 7.0**. Washington, DC, 2010.

ZARIN, Daniel (Org.). **Reduções de Emissão do Desmatamento e da Degradação Florestal (REDD): Relatório de Avaliação de Opções**. Preparado para o Governo da Noruega. Washington: Meridian Institute, 2009. Disponível em: <<http://www.redd-oar.org/links/RED-OAR-po.pdf>>. Acesso em 10 de junho de 2010.

APÊNDICE A – FORMULAÇÃO ALGÉBRICA DO MODELO

O modelo EPPA foi construído a partir do sub-programa *Mathematical Programming System for General Equilibrium* – MPSGE (Rutherford, 1999), que é uma linguagem de programação desenvolvida no início dos anos 1980 para solucionar modelos econômicos de equilíbrio ao estilo Arrow-Debreu. O MPSGE usa como interface a linguagem de programação do GAMS e foi desenvolvido para criar modelos computáveis de equilíbrio geral de forma simples e com menores chances de erro de programação, aumentando a produtividade do pesquisador. Isso é possível uma vez que o MPSGE cria automaticamente a formulação matemática do modelo na forma de um problema de complementariedade mista, uma vez escolhidas as formas funcionais desejadas para as funções de produção, de transformação e de utilidade, as possibilidades de substituição entre bens e insumos, e os dados iniciais de fluxos econômicos da matriz de contabilidade social em equilíbrio. O MPSGE utiliza essas informações para construir algebricamente as funções de custo e demanda relacionadas e confere automaticamente todas as condições de equilíbrio dos mercados e de lucro zero.

A formulação do problema de complementariedade mista pelo MPSGE considera que três desigualdades devem ser satisfeitas: condição de lucro zero (ou custo unitário igual ao preço do bem), condição de equilíbrio nos mercados (oferta igual a demanda) e condição de balanço da renda (despesas iguais às receitas). Um conjunto de três variáveis não negativas deve ser determinado na solução de um problema em MCP: preços, quantidades (níveis de atividades em MPSGE) e níveis de renda. Pretende-se aqui apresentar algumas das equações construídas pelo MPSGE para o modelo EPPA. Contudo, não serão apresentadas todas as equações do modelo, por alguns motivos: a) a representação das árvores tecnológicas e o texto do Capítulo 3 contém as informações necessárias para o entendimento das tecnologias e possibilidades de substituição na produção e consumo; b) a mecânica de construção das equações pelo MPSGE pode ser entendida a partir de alguns poucos exemplos; c) a grande variedade de formas funcionais diferentes e com muitas ramificações adotadas pelo EPPA (setores produtivos, consumo, tecnologias *backstop*, mudança no uso da terra) requer um espaço excessivo para a descrição matemática das mesmas; e d) o EPPA não é ainda um

modelo “*open source*”, ou seja, seu código e dados não estão disponíveis a pesquisadores interessados em replicar os resultados do modelo.³⁵

As tabelas abaixo apresentam os conjuntos, variáveis e parâmetros necessários para entender algumas das equações do modelo.

Conjuntos:

k, i, j	Setores e bens
r, s	Regiões
ELE	Sector de eletricidade (sub-setor de k)
$ENOE$	Setores de energia não-elétricos: carvão, gás natural, petróleo e petróleo refinado (sub-setores de k)

Setores de atividades e níveis de preços (variáveis endógenas)

Y_{rk}	Produção do setor k na região r
N_{rk}	Insumo energético agregado na região utilizado no setor k na região r
M_{rk}	Importações agregadas do setor k na região r
A_{rk}	Agregação Armington de bens domésticos e importados no setor k na região r
π_{rk}^Y	Preço de produção do bem k produzido na região r
π_{rk}^A	Preço do bem agregado k de Armington na região r
π_{rk}^N	Preço do agregado energético na região r e setor k
π_{rk}^M	Preço das importações agregadas do bem k importados pela região r
π^T	Preço do transporte internacional
w_r	Salário na região r
r_r	Preço dos serviços de capital na região r
π_{rk}^E	Preço das permissões de GEEs no setor k na região r

Parâmetros iniciais de parcelas de custos, dotações de fatores e coeficientes técnicos

θ_{rjk}	Parcela de custos do bem intermediário j nos custos totais do setor k na região r
θ_{rk}^{KLE}	Parcela de custos da cesta KLE nos custos totais do setor k na região r
θ_{rk}^N	Parcela do custo com energia na cesta KLE do setor k na região r
α_{rk}	Parcela de custo com mão-de-obra no total do valor adicionado do setor k na região r
θ_{rk}^{ELE}	Parcela de custo da eletricidade na demanda de energia pelo setor k na região r
θ_{rjk}^{ENOE}	Parcela de custo do insumo $j \in ENOE$ na demanda por energia não-elétrica do setor k na região r
θ_{rk}^D	Parcela de custo do bem doméstico k no total do Agregado de Armington na região r
θ_{srk}^M	Parcela de custo das importações do bem k provenientes da região s no total das importações da região r
ϵ_{rk}^j	Coefficiente de emissões de carbono pelo combustível fóssil $j \in ENOE$ no setor k na região r
μ_{rsk}	Coefficiente de custo unitário de transporte internacional do bem k da região s para a região r

A condição de lucro zero determina os níveis de atividades dos setores, enquanto a condição de equilíbrio dos mercados determina os preços. Na notação algébrica a seguir, o símbolo Π_{rk}^u denota a função de lucro na região r e setor k para a atividade de produção u .

³⁵ A instituição responsável pela construção e desenvolvimento do modelo EPPA, o *MIT Joint Program on the Science and Policy of Climate Change* pretende permitir o livre acesso em breve a uma versão do código do modelo aos pesquisadores interessados, através do sítio da web: <http://globalchange.mit.edu/>

Dessa forma, a condição de lucro zero na produção dos setores de serviços, transportes, bens intensivos em energia e outras indústrias, apresentados na Figura 5, pode ser representada por:

$$\Pi_{rk}^Y = \pi_{rk}^Y - \sum_j \theta_{rjk} \pi_{rj}^A - \theta_{rk}^{KLE} \left[\theta_{rk}^N (\pi_{rk}^N)^{1-\sigma_{EVA}} + (1 - \theta_{rk}^N) (w_r^{\alpha_{rk}} r_r^{1-\alpha_{rk}})^{1-\sigma_{EVA}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}} = 0 \quad (A.1)$$

Já a condição de lucro zero para a produção do agregado energético utilizado como insumo nos demais setores da economia (correspondente à ramificação da “Energia Agregada” da árvore tecnológica da Figura 5) pode ser representada por:

$$\Pi_{rk}^N = \pi_{rk}^N - \left[\theta_{rk}^{ELE} (\pi_{ELE,i}^A)^{1-\sigma_{ENOE}} + (1 - \theta_{rk}^{ELE}) (\sum_{j \in ENOE} \theta_{rjk}^{ENOE} (\pi_{rj}^A + \pi_{rk}^E \epsilon_{rk}^j)^{1-\sigma_{EN}})^{\frac{1-\sigma_{ENOE}}{1-\sigma_{EN}}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{ENOE}}} = 0 \quad (A.2)$$

A condição de lucro zero para o agregado Armington de bens domésticos e importados pode ser representada por:

$$\Pi_{rk}^A = \pi_{rk}^A - [\theta_{rk}^D (\pi_{rk}^Y)^{1-\sigma_{DM}} + (1 - \theta_{rk}^D) (\pi_{rk}^M)^{1-\sigma_{DM}}]^{1/(1-\sigma_{DM})} = 0 \quad (A.3)$$

A condição de lucro zero para o agregado Armington de importações de diferentes regiões é dada por:

$$\Pi_{rk}^M = \pi_{rk}^M - (\sum_s \theta_{srk}^M (\pi_{sk}^Y + \mu_{srk} \pi^T)^{1-\sigma_{MM}})^{1/(1-\sigma_{MM})} = 0 \quad (A.4)$$

As equações de lucro zero representadas acima denotam as estruturas tecnológicas de cada setor e atividade da economia. A construção dessas equações utiliza as funções de custo unitário e as funções de demanda na sua forma calibrada pela proporção (*calibrated share form*), como descrito em Rutherford (2002)³⁶. As condições de lucro zero para as demais atividades representadas no modelo EPPA, descritas no Capítulo 3, seguem o mesmo padrão das apresentadas acima, ou seja, consideram que o preço unitário de cada atividade deve ser

³⁶ Rutherford, T. F. Lecture Notes on Constant Elasticity Functions. University of Colorado, November 2002. Disponível em: <http://www.gamsworld.org/mpsge/debreu/ces.pdf>

igual aos custos dos insumos e fatores para produção da mesma, considerando as possibilidades de substituição descritas na metodologia.

A diferenciação da função de lucro em relação aos preços dos insumos e produtos gera as demandas compensadas e de oferta (Lema de Shepard), que serão utilizadas nas condições de equilíbrio de mercado. As condições de equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados podem ser ilustradas pelas equações a seguir, que representam o equilíbrio para os mercados de fatores trabalho e capital, de produção setorial de bens, de demanda setorial de energia e da oferta de importados, respectivamente.

$$\omega_r^L = \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial w_r} \quad (\text{A.5})$$

$$\omega_r^K = \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial r_r} \quad (\text{A.6})$$

$$Y_{rk} = A_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^A}{\partial \pi_{rk}^Y} + \sum_{s \neq r} M_{sk} \frac{\partial \Pi_{sk}^M}{\partial \pi_{rk}^Y} \quad (\text{A.7})$$

$$N_{rk} = Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial \pi_{rk}^N} \quad (\text{A.8})$$

$$M_{rk} = A_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^A}{\partial \pi_{rk}^M} \quad (\text{A.9})$$

É importante notar que a condição de lucro zero para a produção do agregado energético explicita como as políticas de restrições de emissões são introduzidas no modelo. Tal equação mostra uma combinação fixa (Leontief) entre o preço do insumo energético de origem fóssil (π_{rj}^A) e o preço das permissões de emissões ($\pi_{rk}^E \epsilon_{rk}^j$), considerando o coeficiente físico de emissões específico de cada combustível. Dessa forma, quando a política é implementada, ativa-se a necessidade de utilizar para cada unidade monetária de energia o equivalente, em unidades físicas, de permissões de emissões correspondente ao que seria emitido pelo setor ao consumir aquele valor de energia. O preço das permissões pode ser especificado por setor emissor (k) como representado na equação, ou ainda, como um preço único para a economia (π_r^E) no caso de mercados nacionais de carbono, ou ainda como um preço único para o mundo ou grupo de regiões (π^E) no caso de mercados internacionais de emissões.

Por fim, é interessante ilustrar como é feita a programação do MPSGE, uma vez que a representação algébrica descrita anteriormente não precisa ser digitada pelo modelador, uma vez que é construída automaticamente pelo software. Abaixo representa-se o bloco de produção dos setores de serviços, transportes, bens intensivos em energia e outras indústrias na linguagem de programação do MPSGE.

```
$PROD:Y(k,r)   s:0   ee:sigmaEVA(r,k) va(ee):sigmaVA(r,k)
O:PY(k,r)      Q:XP0(r,k)
I:PA(ne,r)     Q:XDPO(r,ne,k)
I:PL(r)        Q:LABD(r,k)   va:
I:PK(r)        Q:KAPD(r,k)   va:
I:PEN(k,r)     Q:ENE(k,r)    ee:
```

O bloco de produção acima indica que o setor $Y(k,r)$ produz um bem cujo preço é $PY(k,r)$, a partir da combinação de: insumos intermediários com preços $PA(ne,r)$, provenientes da oferta de bens agregados de Armington não energéticos (subconjunto ne); trabalho (preço PL); capital (preço PK); e um agregado de insumos energéticos de preço $PEN(k,r)$. O nível de Y e dos diversos preços são variáveis endógenas no modelo. Os parâmetros especificados após os campos “Q:” indicam os valores na base de dados inicial do modelo relacionados com cada um dos preços, ou seja, o valor inicial da produção do setor ($XP0$), o valor dos insumos intermediários ($XDPO$), o valor dos serviços de trabalho ($LABD$) e capital ($KAPD$) e o valor do agregado de insumos energéticos (ENE). Para que a condição de lucro zero seja satisfeita, a soma dos valores dos insumos deve ser igual ao valor da produção. Por último, o código após a especificação dos parâmetros da base de dados (“va:” e “ee:”) indicam as possibilidades de substituição na árvore tecnológica. O valor das elasticidades de substituição são especificados na primeira linha do código, logo após a definição do bloco de produção $\$PROD:Y(k,r)$. A especificação “s:” indica o nível de substituição mais alto na árvore tecnológica e não precisa ser colocado na linha dos insumos. O valor zero na frente deste símbolo indica que a função assume proporções fixas de insumos intermediários e do agregado dos demais insumos (cesta KLE). A especificação “ee:” define a elasticidade σ_{EVA} entre o agregado de insumos energéticos e o valor adicionado, enquanto a especificação “va:” determina a elasticidade σ_{VA} entre os componentes do valor adicionado. Maiores detalhes sobre a formulação do modelo EPPA podem ser encontrados em (PALTSEV *et al.*, 2005), enquanto maiores informações sobre a álgebra criada pelo MPSGE podem ser obtidas em (RUTHERFORD, 1995, 1999).

APÊNDICE B – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Uma questão primordial que surge com a utilização do instrumental de modelos EGC, é a análise da influência dos parâmetros utilizados nos resultados obtidos, ou seja, a robustez dos resultados diante de diferentes conjuntos de parâmetros. Nesse sentido, torna-se importante variar alguns parâmetros e choques em variáveis exógenas, para verificar o quanto estes elementos influenciam os resultados endógenos.

Para isso, foram consideradas quatro situações diferentes, em relação à política CP1, para a realização da análise de sensibilidade dos parâmetros. Na situação 1 (S1) aumentou-se as elasticidade do modelo em 50%, enquanto que, na situação 2 (S2) tais elasticidades foram reduzidas na mesma proporção. Nas situações 3 e 4 realizou-se uma análise de sensibilidade a partir das taxas de crescimento dos países/regiões do modelo, na primeira (S3), aumentou-se em média as taxas de crescimento do Brasil e demais países em 10,12% e 12,78%, respectivamente. Ao passo que na segunda (S4), as taxas de crescimento dessas regiões sofreram reduções médias de 10,06% e 12,34%, respectivamente. Portanto, foram realizados dois tipos de análise de sensibilidade, uma para as elasticidades, e outra para as taxas de crescimento.

Foram analisadas quatro variáveis chaves: o nível de bem-estar, o PIB, emissões nacionais totais e a participação brasileira nas emissões mundiais de GEEs.

A Tabela 19 apresenta os resultados do bem-estar para o Brasil a partir das diferentes situações descritas para as elasticidade e taxas de crescimento, bem como os resultados de bem-estar obtidos no modelo original representado pela política CP1, apresentado ao longo da presente dissertação.

Tabela 19 – Análise de sensibilidade sobre os impactos em bem-estar para o Brasil (%).

Anos	S1	S2	S3	S4	CP1
2015	-0,04	0,05	-0,02	-0,02	-0,02
2020	-0,11	0,06	-0,08	-0,07	-0,08
2025	-0,18	0,01	-0,15	-0,15	-0,15
2030	-0,28	-0,10	-0,24	-0,24	-0,25
2035	-0,35	-0,30	-0,30	-0,34	-0,32
2040	-0,39	-0,61	-0,39	-0,46	-0,42
2045	-0,46	-0,98	-0,56	-0,63	-0,59
2050	-0,61	-1,51	-0,77	-0,84	-0,80

Fonte: Resultado do modelo.

Os resultados para os níveis de bem-estar em S3 e S4 mantêm-se praticamente inalterados quando comparados aos da política original (CP1), o que revela a robustez do modelo às mudanças nas taxas de crescimento. Entretanto, quando são alteradas as elasticidades do modelo este quadro se altera consideravelmente. As perdas de bem-estar se acentuam nos primeiros períodos quando as elasticidades são aumentadas, porém reduzem nos períodos posteriores, sendo próximas às perdas observadas sob as elasticidades originais do EPPA (S1), ao passo que, a redução das elasticidades (S2) desencadeia uma reversão de sinal inicial e em seguida, uma intensificação considerável das perdas de bem-estar. Os resultados associados à situação 2, podem ser compreendidos pela maior rigidez da economia, com a redução das elasticidades, que a torna menos flexível aos choques exógenos. Isso significa que as possibilidades de substituição entre combustíveis, entre insumos e entre produtos são comprometidas ao se reduzir todas as elasticidades do modelo pela metade, afetando os resultados expressivamente. Dessa forma, os resultados são sensíveis a reduções nas elasticidades, o que indica a necessidade de escolha de elasticidades que reflitam as reais possibilidades de substituição entre insumos e produtos nas economias, sob o risco de subestimação dos custos de políticas climáticas no caso de uso de elasticidades mais flexíveis que o esperado.

A Tabela 20 apresenta os resultados do PIB a partir das diferentes situações consideradas. Verificou-se que alterações nas taxas de crescimento dos países/regiões, pouco alteram os resultados do PIB brasileiro nos períodos considerados, ou seja, o modelo novamente se mostrou robusto à alterações nas taxas de crescimento dos países, conforme representado por S3 e S4. A mesma conclusão pode ser obtida quando se considera um aumento de 50% em cada elasticidade do modelo (S1). Entretanto, reduções nas elasticidades implicam em maiores perdas em termos de PIB, este fato também pode ser explicado pelo aumento da rigidez da economia na alocação de seus recursos.

Tabela 20 – Análise de sensibilidade dos impactos sobre o PIB do Brasil (%).

Anos	S1	S2	S3	S4	CP1
2015	-0,11	-0,19	-0,12	-0,12	-0,12
2020	-0,26	-0,42	-0,29	-0,30	-0,30
2025	-0,38	-0,84	-0,46	-0,47	-0,47
2030	-0,58	-1,35	-0,70	-0,69	-0,69
2035	-0,72	-2,03	-0,92	-0,94	-0,92
2040	-0,85	-2,79	-1,17	-1,20	-1,17
2045	-1,02	-3,67	-1,49	-1,52	-1,49
2050	-1,26	-4,66	-1,85	-1,86	-1,84

Fonte: Resultado do modelo.

Quanto às emissões nacionais de GEEs, a Tabela 21 apresenta as variações percentuais das emissões diante das diferentes situações. Os resultados revelam que as mudanças desencadeadas por alterações nas taxas de crescimento, representadas pelas situações 3 e 4, foram relativamente pequenas em relação à política original (CP1), o que pode ser entendido como uma robustez do modelo a alterações deste parâmetro (taxa de crescimento dos países). Ainda, a mudança mais significativa ocorreu na situação 1, que representa um aumento nas elasticidades, que propiciou reduções em emissões mais pronunciadas quando comparada à política original. Este fato pode ser explicado pela maior flexibilidade da economia em alocar seus recursos, por exemplo, substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis de forma a intensificar as reduções de emissões nacionais de GEEs.

Tabela 21 – Análise de sensibilidade dos impactos sobre as emissões nacionais totais de GEEs (%).

Anos	S1	S2	S3	S4	CP1
2015	-35,70	-9,23	-8,87	-7,41	-8,21
2020	-40,79	-16,26	-16,96	-14,51	-16,16
2025	-42,50	-23,59	-24,91	-22,47	-24,08
2030	-49,41	-30,68	-32,47	-29,59	-31,57
2035	-55,43	-38,06	-39,41	-37,34	-39,14
2040	-60,53	-44,90	-45,12	-44,57	-45,58
2045	-65,84	-51,18	-49,89	-50,86	-50,89
2050	-69,58	-55,36	-52,32	-54,64	-53,73

Fonte: Resultado do modelo.

Por fim, a Tabela 22 apresenta os resultados da participação brasileira nas emissões mundiais diante das diferentes situações consideradas, bem como os resultados obtidos a partir do modelo original representado pela política CP1.

Tabela 22 – Análise de sensibilidade dos impactos sobre a participação nacional nas emissões mundiais de GEEs (%).

Anos	S1	S2	S3	S4	CP1
2004	4,99	4,97	4,98	4,98	4,98
2005	5,61	5,57	5,58	5,60	5,59
2010	4,23	4,43	4,17	4,29	4,23
2015	2,49	3,56	3,27	2,63	2,95
2020	2,28	3,10	2,94	2,50	2,79
2025	2,00	2,83	2,51	2,31	2,45
2030	1,62	2,52	2,09	1,97	2,05
2035	1,34	2,24	1,74	1,70	1,75
2040	1,15	1,98	1,51	1,50	1,51
2045	0,98	1,76	1,35	1,32	1,33
2050	0,86	1,60	1,25	1,19	1,21

Fonte: Resultado do modelo.

A análise de sensibilidade revela que alterações das taxas de crescimento dos países, como expresso pelas situações 3 e 4, não provocam mudanças significativas nos resultados da participação do Brasil nas emissões mundiais, indicando uma robustez do modelo à alterações do parâmetro taxa de crescimento dos países/regiões. Já em relação às elasticidades, são observadas modificações mais expressivas em relação aos resultados do modelo original.

Um aumento de todas as elasticidades em 50% (S1) pode tornar a economia mais flexível na alocação de seus fatores, como destacado anteriormente, favorecendo uma redução mais expressiva da participação brasileira nas emissões mundiais. Já a redução das elasticidades em 50% (S2), torna a economia brasileira mais rígida na utilização de seus recursos tornando mais difícil a redução das emissões nacionais e, portanto, a redução da participação brasileira nas emissões globais. Dessa forma, os parâmetros elasticidades devem ser encarados com maior cautela, uma vez que alterações em suas magnitudes podem desencadear mudanças expressivas nos resultados do modelo. Esses resultados indicam a necessidade de considerar com cuidado as possibilidades de substituição do modelo, uma vez que uma redução nas elasticidades utilizadas no modelo original implicam em mudanças consideráveis nos custos da política simulada.

APÊNDICE C – RESULTADOS DO MODELO EPPA

Tabela 23 – Emissões totais de GEEs no cenário de referência (mmt de CO₂eq.)

Setores	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	10,72	22,00	27,01	27,98	29,22	31,18	32,80	35,41	37,78	40,95	44,51
Pecuária	3,29	3,20	3,45	3,76	3,90	4,09	4,28	4,55	4,83	5,19	5,61
Silvicultura	0,23	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32
Desmatamento	947,96	1253,17	894,26	532,55	761,53	863,35	877,17	921,60	912,15	876,28	832,37
Indústria de alimentos	3,67	3,99	4,32	4,63	4,76	4,90	5,02	5,18	5,33	5,51	5,70
Refino de petróleo	74,83	74,71	84,22	95,65	102,96	112,53	121,77	131,65	141,04	151,69	162,74
Eleticidade	20,45	23,02	21,90	24,30	26,66	25,47	23,34	24,84	29,39	35,79	43,73
Set. Intens. Energia	80,66	84,40	90,47	102,06	108,53	116,22	123,53	130,88	138,49	146,63	154,62
Outras indústrias	7,41	8,06	9,18	10,36	11,06	11,87	12,66	13,48	14,34	15,28	16,23
Serviços	4,44	4,55	4,92	5,28	5,57	5,74	5,87	6,04	6,29	6,55	6,83
Transporte	91,37	98,34	111,01	123,68	131,14	140,72	149,43	158,18	167,70	177,67	187,60
Transporte domicílios	51,06	36,95	34,16	32,83	30,56	30,14	28,66	27,25	26,17	24,90	23,35
Domicílios	6,05	6,68	7,99	8,91	9,38	10,04	10,68	11,39	12,15	13,00	13,91
Indústria de cimentos	13,50	14,52	17,86	23,23	28,01	33,76	39,78	45,90	51,86	57,61	62,61
Total	1315,64	1633,76	1310,93	995,42	1253,49	1390,23	1435,22	1516,59	1547,78	1557,36	1560,13

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 24 – Emissões totais de GEEs com a introdução de CP1 (mmt de CO2eq.)

Setores	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	372,09	367,22	345,03	305,64	294,37	278,17	259,42	259,22	271,80	297,28	324,22
Pecuária	284,34	285,59	277,29	263,35	244,20	228,70	212,03	200,30	197,54	200,89	201,03
Silvicultura	0,23	0,16	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
Desmatamento	947,96	1253,17	894,26	458,00	555,92	518,01	412,27	313,34	191,55	70,10	0,83
Indústria de alimentos	3,88	4,22	4,57	4,73	4,64	4,58	4,49	4,43	4,34	4,26	4,17
Produção de carvão	1,40	1,26	1,19	1,19	1,12	1,07	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73
Refino de petróleo	75,04	74,94	84,47	92,65	95,29	99,78	103,26	106,55	108,70	111,04	112,85
Eletricidade	22,91	25,78	24,45	25,05	26,29	24,10	21,16	21,52	24,26	28,07	32,49
Set. Intens. Energia	91,99	96,52	103,84	112,97	115,30	119,08	121,91	123,97	126,05	127,78	128,57
Outras indústrias	7,94	8,64	9,91	10,84	11,13	11,52	11,82	12,08	12,35	12,58	12,71
Serviços	4,56	4,67	5,06	5,25	5,28	5,21	5,09	4,99	4,95	4,90	4,83
Transportes	92,15	99,18	111,98	120,51	122,06	125,64	127,57	128,86	130,07	130,86	130,86
Domicílios	51,37	59,28	68,04	70,57	68,34	67,08	65,12	63,20	61,04	60,06	59,59
Transporte doméstico	51,06	36,95	34,16	31,52	27,74	25,91	23,18	20,57	18,28	15,89	13,39
Indústria de cimento	13,50	14,52	17,86	23,08	27,63	33,09	38,76	44,43	49,80	54,98	59,38
Total	2020,42	2332,09	1982,28	1525,52	1599,48	1542,11	1407,30	1304,61	1201,81	1119,70	1085,88

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 25 – Emissões totais de GEEs com a introdução de CP2 (mmt de CO2eq.)

Setores	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	372,09	367,22	345,03	305,64	294,37	278,17	259,42	259,22	271,80	297,28	324,22
Pecuária	284,34	285,59	277,29	263,35	244,20	228,70	212,03	200,30	197,54	200,89	201,03
Silvicultura	0,23	0,16	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
Desmatamento	947,96	1253,17	894,26	499,43	715,09	785,74	755,24	793,81	790,44	778,94	757,80
Indústria de alimentos	3,88	4,22	4,57	4,73	4,64	4,58	4,49	4,43	4,34	4,26	4,17
Produção de Carvão	1,40	1,26	1,19	1,19	1,12	1,07	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73
Refino de Petróleo	75,04	74,94	84,47	92,65	95,29	99,78	103,26	106,55	108,70	111,04	112,85
Eletricidade	22,91	25,78	24,45	25,05	26,29	24,10	21,16	21,52	24,26	28,07	32,49
Set. Intens. Energia	91,99	96,52	103,84	112,97	115,30	119,08	121,91	123,97	126,05	127,78	128,57
Outras indústrias	7,94	8,64	9,91	10,84	11,13	11,52	11,82	12,08	12,35	12,58	12,71
Serviços	4,56	4,67	5,06	5,25	5,28	5,21	5,09	4,99	4,95	4,90	4,83
Transportes	92,15	99,18	111,98	120,51	122,06	125,64	127,57	128,86	130,07	130,86	130,86
Domicílios	51,37	59,28	68,04	70,57	68,34	67,08	65,12	63,20	61,04	60,06	59,60
Transporte doméstico	51,06	36,95	34,16	31,52	27,74	25,91	23,18	20,57	18,27	15,89	13,38
Indústria de cimento	13,50	14,52	17,86	23,08	27,63	33,08	38,76	44,43	49,80	54,97	59,37
Total	2020,42	2332,09	1982,28	1566,95	1758,65	1809,84	1750,27	1785,07	1800,69	1828,53	1842,84

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 26 – Variação das emissões de GEEs com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-10,28	-13,14	-16,43	-19,64	-22,41	-24,83	-27,14	-29,46
Pecuária	-3,00	-6,10	-9,15	-12,19	-15,25	-18,30	-21,35	-24,40
Silvicultura	-5,05	-8,04	-9,26	-12,38	-15,80	-18,01	-22,57	-23,98
Desmatamento	-6,22	-6,10	-8,99	-13,90	-13,87	-13,34	-11,11	-8,96
Indústria de alimentos	-3,40	-7,91	-11,89	-15,86	-19,80	-23,68	-27,46	-31,37
Produção de carvão	-3,40	-7,70	-11,55	-15,40	-19,25	-23,10	-26,95	-30,80
Refino de petróleo	-3,40	-7,71	-11,57	-15,42	-19,28	-23,12	-26,97	-30,82
Eletricidade	-7,40	-11,33	-14,75	-18,25	-21,44	-24,92	-28,52	-32,13
Set. intens. energia	-3,95	-8,28	-12,16	-16,02	-19,85	-23,71	-27,58	-31,41
Outras indústrias	-4,11	-8,35	-12,16	-15,97	-19,82	-23,66	-27,51	-30,72
Serviços	-3,57	-8,02	-12,01	-16,04	-19,96	-23,78	-27,69	-31,57
Transporte	-3,42	-7,77	-11,55	-15,44	-19,33	-23,20	-27,07	-30,94
Domicílios	-3,12	-7,04	-10,51	-13,95	-17,31	-20,61	-23,94	-27,29
Transporte doméstico	-4,00	-9,24	-14,05	-19,11	-24,52	-30,17	-36,19	-42,70
Indústria de cimento	-0,63	-1,37	-2,00	-2,56	-3,21	-3,98	-4,59	-5,18
Total	-5,72	-7,82	-10,90	-14,89	-16,73	-18,46	-19,79	-21,47

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 27 – Participação das emissões setoriais no CR (em %).

Setores	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	18,42	15,75	17,41	20,50	17,76	16,39	15,70	15,58	16,37	17,90	19,59
Pecuária	14,07	12,25	13,99	16,33	13,63	12,39	11,74	11,03	10,95	11,20	11,33
Silvicultura	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Desmatamento	46,92	53,74	45,11	32,04	39,92	42,51	42,65	42,99	41,30	38,44	35,47
Indústria de alimentos	0,19	0,18	0,23	0,29	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Produção de carvão	0,07	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04
Refino de petróleo	3,71	3,21	4,26	5,77	5,41	5,55	5,94	6,16	6,40	6,67	6,95
Eleticidade	1,13	1,11	1,23	1,63	1,55	1,39	1,26	1,28	1,46	1,72	2,04
Set. intens. energia	4,55	4,14	5,24	7,08	6,59	6,67	7,06	7,22	7,48	7,74	7,99
Outras indústrias	0,39	0,37	0,50	0,68	0,64	0,65	0,68	0,70	0,73	0,76	0,78
Serviços	0,23	0,20	0,26	0,33	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30
Transporte	4,56	4,25	5,65	7,51	6,94	6,99	7,34	7,45	7,67	7,87	8,07
Domicílios	2,54	2,54	3,43	4,38	3,85	3,69	3,68	3,57	3,48	3,46	3,49
Transporte doméstico	2,53	1,58	1,72	1,98	1,60	1,48	1,39	1,27	1,18	1,09	1,00
Indústria de cimento	0,67	0,62	0,90	1,40	1,47	1,66	1,93	2,14	2,35	2,53	2,67
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 28 – Participação das emissões setoriais com a introdução de CP1 (em %).

Setores	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	18,42	15,75	17,41	20,03	18,40	18,04	18,43	19,87	22,62	26,55	29,86
Pecuária	14,07	12,25	13,99	17,26	15,27	14,83	15,07	15,35	16,44	17,94	18,51
Silvicultura	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Desmatamento	46,92	53,74	45,11	30,02	34,76	33,59	29,30	24,02	15,94	6,26	0,08
Indústria de alimentos	0,19	0,18	0,23	0,31	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,38
Produção de carvão	0,07	0,05	0,06	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Refino de petróleo	3,71	3,21	4,26	6,07	5,96	6,47	7,34	8,17	9,04	9,92	10,39
Eletricidade	1,13	1,11	1,23	1,64	1,64	1,56	1,50	1,65	2,02	2,51	2,99
Set. Intens. Energia	4,55	4,14	5,24	7,41	7,21	7,72	8,66	9,50	10,49	11,41	11,84
Outras indústrias	0,39	0,37	0,50	0,71	0,70	0,75	0,84	0,93	1,03	1,12	1,17
Serviços	0,23	0,20	0,26	0,34	0,33	0,34	0,36	0,38	0,41	0,44	0,44
Transporte	4,56	4,25	5,65	7,90	7,63	8,15	9,07	9,88	10,82	11,69	12,05
Domicílios	2,54	2,54	3,43	4,63	4,27	4,35	4,63	4,84	5,08	5,36	5,49
Transporte doméstico	2,53	1,58	1,72	2,07	1,73	1,68	1,65	1,58	1,52	1,42	1,23
Indústria de cimento	0,67	0,62	0,90	1,51	1,73	2,15	2,75	3,41	4,14	4,91	5,47
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 29 – Participação das emissões setoriais com a introdução de CP2 (em %).

Setores	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	18,42	15,75	17,41	19,51	16,74	15,37	14,82	14,52	15,09	16,26	17,59
Pecuária	14,07	12,25	13,99	16,81	13,89	12,64	12,11	11,22	10,97	10,99	10,91
Silvicultura	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Desmatamento	46,92	53,74	45,11	31,87	40,66	43,42	43,15	44,47	43,90	42,60	41,12
Indústria de alimentos	0,19	0,18	0,23	0,30	0,26	0,25	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23
Produção de carvão	0,07	0,05	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
Refino de petróleo	3,71	3,21	4,26	5,91	5,42	5,51	5,90	5,97	6,04	6,07	6,12
Eletricidade	1,13	1,11	1,23	1,60	1,49	1,33	1,21	1,21	1,35	1,54	1,76
Set. intens. energia	4,55	4,14	5,24	7,21	6,56	6,58	6,97	6,94	7,00	6,99	6,98
Outras indústrias	0,39	0,37	0,50	0,69	0,63	0,64	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69
Serviços	0,23	0,20	0,26	0,33	0,30	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26
Transporte	4,56	4,25	5,65	7,69	6,94	6,94	7,29	7,22	7,22	7,16	7,10
Domicílios	2,54	2,54	3,43	4,50	3,89	3,71	3,72	3,54	3,39	3,28	3,23
Transporte doméstico	2,53	1,58	1,72	2,01	1,58	1,43	1,32	1,15	1,01	0,87	0,73
Indústria de cimento	0,67	0,62	0,90	1,47	1,57	1,83	2,21	2,49	2,77	3,01	3,22
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 30 – Imposto ao carbono com a introdução da política CP2.

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	20,00	43,00	56,00	63,00	71,00	76,00	88,00	101,00
Pecuária	21,00	46,00	65,00	76,00	80,00	74,00	72,00	73,00
Silvicultura	18,00	40,00	59,00	88,00	106,00	121,00	150,00	191,00
Ind. de alimentos	9,00	25,00	36,00	46,00	54,00	62,00	75,00	89,00
Refino de petróleo	1,00	2,00	1,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00
Eletricidade	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	5,00
Set. intens. energia	7,00	19,00	31,00	47,00	63,00	81,00	108,00	142,00
Outras indústrias	5,00	14,00	23,00	34,00	46,00	62,00	84,00	112,00
Serviços	9,00	25,00	43,00	66,00	93,00	122,00	161,00	210,00
Transportes	10,00	28,00	13,00	35,00	57,00	79,00	112,00	152,00

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 31 – Variação dos preços de oferta doméstica com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	0,29	0,76	1,91	3,66	4,69	5,59	6,51	7,40
Pastagens	0,21	0,60	2,09	6,01	12,03	19,68	28,40	37,53
Silvicultura	-0,14	-0,69	-1,98	-4,15	-6,82	-9,13	-10,09	-10,53
Ind. de alimentos	0,05	0,16	0,63	1,66	2,96	4,58	6,50	8,57
Produção de carvão	-1,57	-3,71	-4,97	-7,07	-8,97	-10,49	-12,33	-14,22
Refino de petróleo	-0,04	-1,21	-1,94	-2,67	-2,15	0,03	0,37	0,51
Gás	-1,22	-3,09	-4,67	-7,10	-9,77	-12,48	-15,60	-18,92
Termo-Eletricidade	0,11	0,18	0,02	-0,50	-0,81	-0,82	-0,78	-0,61
Set. intens. energia	0,29	0,68	0,95	1,14	1,37	1,65	1,98	2,33
Outras indústrias	-0,25	-0,56	-0,83	-1,26	-1,69	-2,14	-2,63	-3,12
Serviços	-0,33	-0,71	-0,99	-1,41	-1,80	-2,22	-2,64	-3,07
Transportes	2,45	5,72	6,73	9,73	12,47	15,46	18,51	21,54
Consumo das famílias	-0,22	-0,48	-0,71	-1,07	-1,43	-1,82	-2,21	-2,60

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 32 – Variação da produção com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Culturas	-0,51	-1,18	-2,73	-5,07	-7,46	-10,07	-12,76	-15,5
Pecuária	-0,27	-0,63	-1,6	-3,46	-5,84	-8,65	-11,66	-14,76
Silvicultura	0,89	1,28	2,14	3,42	3,11	1,93	-0,4	-2,79
Ind. de alimentos	-0,2	-0,45	-1,2	-2,65	-4,5	-6,73	-9,15	-11,68
Produção de carvão	-2,56	-6,4	-8,38	-11	-12,72	-14,23	-15,79	-17,42
Petróleo	0,15	-1,82	-3,17	-3,25	-1,61	1,72	2,25	2,38
Refino de petróleo	-2,52	-4,6	-7,42	-9,48	-12,87	-18,05	-21,36	-24,49
Gás	-3,3	-7,85	-10,81	-15,18	-19,18	-22,34	-25,54	-28,48
Eletricidade	-0,26	-0,58	-0,94	-1,25	-1,74	-2,51	-3,37	-4,4
Set. intens. energia	-0,64	-1,36	-2,01	-2,56	-3,21	-3,97	-4,59	-5,17
Outras indústrias	0,1	0,28	0,37	0,62	0,81	1,02	1,33	1,67
Serviços	0,03	0,05	0,02	0,07	0,11	0,17	0,2	0,22
Transportes	-2,37	-5,2	-6,33	-8,89	-11,09	-13,33	-15,37	-17,21
Consumo das famílias	-0,02	-0,08	-0,15	-0,24	-0,32	-0,42	-0,58	-0,79

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 33 – Variação da produção de energia com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %).

Fontes de energia	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Carvão	-2,83	-6,53	-8,07	-10,76	-12,98	-14,29	-15,88	-17,44
Petróleo	0,15	-1,82	-3,18	-3,25	-1,61	1,73	2,25	2,39
Refino de petróleo	-2,52	-4,6	-7,42	-9,48	-12,87	-18,05	-21,36	-24,49
Gás	-3,32	-7,86	-10,82	-15,17	-19,16	-22,34	-25,52	-28,49
Termo-Eletricidade	-2,96	-6,06	-9,7	-13,51	-17,79	-22,41	-25,96	-29,36
Nuclear	0,00	0,00	0,69	0,00	0,64	0,00	0,60	0,58
Hidroelétrica	0,2	0,42	0,41	0,36	0,39	0,5	0,63	0,78
Eólica	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	0,78	0,00	-0,46
Bioeletricidade	0	0,81	0,74	0,67	-0,74	0	0	0
Etanol	2,15	4,83	7,19	9,16	11,29	13,51	15,36	17,15

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 34 – Variação da produção de energia elétrica com CP1 e relação ao CR (em %).

Fontes de Energia	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Carvão	-3,85	-9,52	-13,91	-17,67	-20,82	-23,49	-27,56	-31,89
Petróleo	-2,42	-3,79	-6,38	-10,25	-15,34	-21,59	-24,74	-27,30
Nuclear	0,17	0,32	0,32	0,30	0,31	0,40	0,48	0,58
Hidroelétrica	0,22	0,42	0,42	0,37	0,39	0,51	0,63	0,78
Eólica					5,03	2,39	-0,25	-0,46
Bioeletricidade	0,21	0,40	0,26	0,05	-1,21	-7,08		
Gás	-3,06	-6,42	-9,86	-13,70	-17,92	-22,48	-26,07	-29,48

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 35 – Variação da produção de energia elétrica com CP2 em relação ao CR (em %).

Fontes de energia	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Carvão	-3,85	-9,52	-13,91	-17,67	-20,82	-23,49	-27,56	-31,89
Petróleo	-2,42	-3,79	-6,38	-10,25	-15,34	-21,59	-24,74	-27,30
Nuclear	0,17	0,32	0,32	0,30	0,31	0,40	0,48	0,58
Hidroelétrica	0,22	0,42	0,42	0,37	0,39	0,51	0,63	0,78
Eólica					5,03	2,39	-0,25	-0,44
Bioeletricidade	0,21	0,40	0,26	0,05	-1,21	-7,08		
Gás	-3,06	-6,42	-9,86	-13,70	-17,92	-22,48	-26,07	-29,48

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 36 – Variação da demanda de energia com a introdução de CP1 em relação ao CR (em %).

Anos	Carvão	Petróleo	Refino de Petróleo	Gás	Eleticidade	Domicílios
2015	-6,48	-2,38	-2,69	-4,29	-0,23	-0,55
2020	-14,93	-4,05	-5,90	-10,30	-0,57	-1,28
2025	-18,98	-6,03	-9,64	-14,10	-0,93	-2,00
2030	-25,60	-7,84	-12,62	-19,80	-1,26	-2,63
2035	-30,87	-11,23	-15,86	-25,09	-1,77	-3,22
2040	-34,52	-16,73	-19,55	-29,49	-2,53	-3,82
2045	-39,06	-20,00	-22,99	-34,07	-3,40	-4,53
2050	-43,48	-23,03	-26,46	-38,43	-4,43	-5,44

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 37 – Variação da demanda de energia com a introdução de CP2 em relação ao CR (em %).

Anos	Carvão	Petróleo	Refino de Petróleo	Gás	Eleticidade	Domicílios
2015	-6,48	-2,38	-2,69	-4,29	-0,23	-0,55
2020	-14,93	-4,06	-5,90	-10,30	-0,57	-1,28
2025	-18,98	-6,04	-9,64	-14,12	-0,93	-2,00
2030	-25,60	-7,84	-12,62	-19,80	-1,26	-2,63
2035	-30,87	-11,23	-15,86	-25,09	-1,77	-3,19
2040	-34,52	-16,74	-19,55	-29,49	-2,53	-3,80
2045	-39,05	-20,00	-22,99	-34,07	-3,40	-4,53
2050	-43,48	-23,04	-26,46	-38,43	-4,42	-5,41

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 38 – Gastos do governo em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.

Anos	Em termos absolutos			Em termos percentuais		
	CR	CP1	CP2	CR*	CP1	CP2
2004	116,2	116,2	116,2	-	0,00	0,00
2005	119,8	119,8	119,8	3,05	0,00	0,00
2010	129,4	129,4	129,4	8,01	0,00	0,00
2015	148,4	147,9	147,9	14,70	-0,32	-0,31
2020	178,3	177,0	177,0	20,13	-0,70	-0,70
2025	198,7	196,8	196,8	11,47	-0,97	-0,96
2030	222,8	219,7	219,7	12,10	-1,37	-1,37
2035	252,6	248,1	248,2	13,36	-1,75	-1,75
2040	290,6	284,4	284,4	15,08	-2,16	-2,15
2045	333,9	325,2	325,3	14,86	-2,58	-2,57
2050	386,0	374,5	374,5	15,62	-2,99	-2,98

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 39 – Investimento em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.

Anos	Em termos absolutos			Em termos percentuais		
	CR	CP1	CP2	CR*	CP1	CP2
2004	120,5	120,5	120,5	-	0,00	0,00
2005	145,7	145,7	145,7	20,95	0,00	0,00
2010	194,1	194,1	194,1	33,21	0,00	0,00
2015	243,9	243,3	243,3	25,64	-0,24	-0,24
2020	281,2	279,6	279,6	15,29	-0,57	-0,56
2025	334,7	331,8	331,8	19,03	-0,86	-0,86
2030	397,0	391,7	391,8	18,62	-1,31	-1,31
2035	467,2	459,0	459,1	17,71	-1,75	-1,75
2040	542,8	530,6	530,7	16,17	-2,24	-2,23
2045	631,9	614,2	614,4	16,42	-2,80	-2,78
2050	733,4	708,5	708,8	16,06	-3,40	-3,37

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 40 – Consumo em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.

Anos	Em termos absolutos			Em termos percentuais		
	CR	CP1	CP2	CR*	CP1	CP2
2004	338,7	338,7	338,7	-	0,00	0,00
2005	393,3	393,3	393,3	16,10	0,00	0,00
2010	503,8	503,8	503,8	28,10	0,00	0,00
2015	607,0	606,9	606,9	20,50	-0,02	-0,02
2020	687,8	687,2	687,2	13,30	-0,08	-0,08
2025	794,3	793,1	793,1	15,49	-0,15	-0,15
2030	913,1	910,9	910,9	14,96	-0,24	-0,24
2035	1051,1	1047,7	1047,7	15,11	-0,32	-0,32
2040	1202,7	1197,7	1197,7	14,42	-0,42	-0,42
2045	1382,4	1374,3	1374,4	14,94	-0,59	-0,58
2050	1588,5	1575,7	1576,0	14,91	-0,80	-0,79

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 41 – Exportações líquidas em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.

Anos	Em termos absolutos			Em termos percentuais		
	CR	CP1	CP2	CR*	CP1	CP2
2004	35,9	35,9	35,9	-	0,00	0,0
2005	33,6	33,6	33,6	-6,51	0,00	0,0
2010	3,4	3,4	3,4	-89,83	0,00	0,0
2015	4,2	4,1	4,1	22,27	-1,32	-1,32
2020	4,7	4,6	4,6	12,22	-2,41	-2,41
2025	5,5	5,3	5,3	16,60	-3,02	-3,02
2030	6,4	6,1	6,1	16,69	-3,69	-3,69
2035	7,4	7,1	7,1	16,36	-4,70	-4,70
2040	8,6	8,1	8,1	15,93	-5,96	-5,95
2045	10,0	9,3	9,3	16,12	-6,80	-6,80
2050	11,5	10,6	10,6	15,61	-7,75	-7,74

Fonte: Resultado do modelo.

Tabela 42 - Demanda final energética segundo o Ministério de Minas e Energia de 2004 a 2030 (em EJ).

Fontes de Energia	Cenários	2004	2005	2010	2020	2030
Petróleo*	A	2, 9802	2, 8001	3, 3938	4, 6493	6, 6993
	B1	2, 9802	2, 8001	3, 4243	4, 4824	6, 0675
	B2	2, 9802	2, 8001	3, 4133	4, 1187	5, 3166
	C	2, 9802	2, 8001	3, 2407	3, 6868	4, 6633
Eletricidade	A	1, 2961	1, 3023	1, 7100	2, 6843	4, 4779
	B1	1, 2961	1, 3023	1, 6893	2, 4543	3, 5726
	B2	1, 2961	1, 3023	1, 6666	2, 3298	3, 3884
	C	1, 2961	1, 3023	1, 6270	2, 1530	3, 0495
Gás	A	0, 1326	0, 3940	0, 5969	1, 0182	1, 6777
	B1	0, 1326	0, 3940	0, 5760	0, 9320	1, 3668
	B2	0, 1326	0, 3940	0, 5635	0, 8251	1, 1721
	C	0, 1326	0, 3940	0, 5446	0, 7481	1, 0196
Carvão**	A	0, 4118	0, 4161	0, 6147	1, 0784	1, 4779
	B1	0, 4118	0, 4161	0, 6003	1, 1023	0, 9567
	B2	0, 4118	0, 4161	0, 6232	0, 9183	1, 0690
	C	0, 4118	0, 4161	0, 6010	0, 8626	0, 9921

Fonte: Brasil (2007). Elaboração própria.

*Esta agregação considera petróleo e seus derivados.

**Carvão mineral.

Tabela 43 – Demanda energética segundo o EPPA de 2004 a 2030 (em EJ).

Fontes de Energia	2004	2005	2010	2020	2030
Petróleo	3, 5859	3, 9794	4, 8189	6, 2593	7, 3237
Eletricidade	1, 4522	1, 6661	2, 1236	2, 8397	3, 4517
Gás	0, 5650	0, 6732	0, 9629	1, 4441	1, 8615
Carvão	0, 5108	0, 8427	0, 8427	1, 2341	1, 5708

Fonte: EPPA.

Tabela 44 – Demanda final energética segundo o Ministério de Minas e Energia de 2004 a 2030 (em EJ).

Setor	Cenários	2004	2005	2010	2020	2030
Agricultura	A	0,3456	0,3499	0,4599	0,7303	1,1976
	B1	0,3456	0,3499	0,4378	0,6279	0,8942
	B2	0,3456	0,3499	0,4378	0,5568	0,7432
	C	0,3456	0,3499	0,4023	0,5067	0,6614
Indústria	A	3,0237	3,0773	4,0524	6,1695	9,0936
	B1	3,0237	3,0773	3,9689	5,6674	7,3243
	B2	3,0237	3,0773	3,9646	5,1701	6,5489
	C	3,0237	3,0773	3,8735	4,7491	5,8060
Serviços*	A	0,3544	0,3728	0,4747	0,7707	1,4255
	B1	0,3544	0,3728	0,4675	0,6879	1,1286
	B2	0,3544	0,3728	0,4680	0,6328	0,9667
	C	0,3544	0,3728	0,4499	0,5871	0,8384
Transportes	A	2,1550	2,1965	2,7543	4,0109	6,3581
	B1	2,1550	2,1965	2,7591	3,8795	5,8249
	B2	2,1550	2,1965	2,7706	3,5417	4,8511
	C	2,1550	2,1965	2,6755	3,1338	3,9908
Famílias	A	0,8942	0,9139	0,9396	1,2677	1,7722
	B1	0,8942	0,9139	0,9981	1,2236	1,6941
	B2	0,8942	0,9139	0,9979	1,3166	1,8076
	C	0,8942	0,9139	0,9734	1,2251	1,6530

Fonte: Brasil (2007). Elaboração própria.

*Agregação utilizada: comercial + público.

Tabela 45 – Demanda final energética segundo o EPPA de 2004 a 2030 (em EJ).

Setores	2004	2005	2010	2020	2030
Agricultura*	0, 2274	0, 2245	0, 2572	0, 3148	0, 3512
Indústria1 **	1, 6086	1, 6315	1, 9216	2, 5773	3, 0550
Indústria 2	6, 5526	7, 2966	9, 2054	12, 5238	15, 0749
Indústria 3	6, 5523	6, 7683	8, 2267	10, 9180	13, 0099
Indústria 4	6, 5526	7, 2966	9, 2054	12, 5238	15, 0749
Indústria 5	1, 9389	2, 1589	2, 9003	4, 1831	5, 1200
Indústria 6	3, 3089	3, 7135	4, 7654	6, 5509	7, 8278
Serviços 1***	0, 1282	0, 1532	0, 1959	0, 2340	0, 2576
Serviços 2	1, 4982	1, 7069	2, 0610	2, 6018	2, 9654
Serviços 3	0, 4584	0, 6815	1, 1746	1, 8398	2, 3226
Serviços 4	1, 8285	2, 2352	3, 0397	4, 2076	5, 0304
Transportes	1, 3700	1, 5537	1, 8651	2, 3678	2, 7078
Famílias	0, 1846	0, 2419	0, 3338	0, 4214	0, 5001

Fonte: EPPA.

*A agregação realizada considera culturas, rebanho e florestas (agropecuária).

**A agregação da indústria 1 representa os setores food, eint,othr. A indústria 2 representa a 1 acrescida de elec, gas, roil,coal e oil. A indústria 3 representa a 1 acrescida de roil, a indústria 4 representa a 3 acrescida de elec, já a indústria 5 representa a 3 acrescida de elec e a indústria 6 representa a 5 acrescida de tran.

***Agregação de serviços 1 representa serviços, a de serviços 2 soma serv e tran, a de serviços 3 soma serv. e elec. e a de serviços 4 soma serv., tran e elec.

Tabela 46 – Oferta interna de energia segundo o Ministério de Minas e Energia de 2004 a 2030 (em EJ).

Fontes de Energia	2004	2005	2010	2020	2030
Petróleo	3, 2090	3, 5402	4, 0624	4, 9882	6, 5278
Gás	0, 7056	0, 8594	1, 5632	2, 3737	3, 6231
Carvão*	0, 4474	0, 5745	0, 8380	1, 2646	1, 6080
Nuclear	0, 2472	0, 1067	0, 1941	0, 4177	0, 7094
Energia Hidráulica	1, 1552	1, 3557	1, 5827	2, 2841	3, 1431
Eólica	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0138

Fonte: Brasil (2007). Elaboração própria.

*Carvão metalúrgico.

Tabela 47 – Oferta interna de energia segundo o EPPA de 2004 a 2030 (em EJ).

Fontes de Energia	2004	2005	2010	2020	2030
Petróleo	3, 1839	3, 4135	4, 0765	5, 0229	5, 4742
Gás	0, 2687	0, 3181	0, 44820	0, 6736	0, 8712
Carvão	3, 1839	3, 4135	4, 0765	5, 0229	5, 4742
Nuclear	0, 0116	0, 0120	0, 0123	0, 0135	0, 0146
Energia Hidráulica	1, 0980	1, 1571	1, 4602	1, 2622	1, 6819
Eólica	0, 0002	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000

Fonte: EPPA.

ANEXO A - PARTES DA CQNUMC

ANEXO I

Alemanha	Eslovênia	Itália	Portugal
Austrália	Espanha	Japão	Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte
Áustria	Estados Unidos	Letônia	República Tcheca
Bielo-Rússia	Estônia	Liechtenstein	República Eslovaca
Bélgica	Federação Russa	Lituânia	Romênia
Bulgária	Finlândia	Luxemburgo	Suécia
Canadá	França	Mônaco	Suíça
Comunidade Econômica Européia	Grécia	Noruega	Turquia
Croácia	Hungria	Nova Zelândia	Ucrânia
Dinamarca	Irlanda	Países Baixos	
Eslováquia	Islândia	Polônia	

Não-Anexo I

Afeganistão	Djibouti	Madagascar	República Democrática do Congo
África do Sul	Dominica	Malásia	República Democrática Popular da Coreia
Albânia	Egito	Maláui	República Democrática do Laos
Angola	El Salvador	Maldivas	República Dominicana
Antiga República Iugoslava da Macedônia	Emirados Árabes Unidos	Mali	República Unida da Tanzânia
Antígua e Barbuda	Equador	Malta	Ruanda
Arábia Saudita	Eritreia	Marrocos	Samoa
Argélia	Etiópia	Maurício	Santa Lúcia
Argentina	Fiji	Mauritânia	São Cristóvão e Nevis
Armênia	Filipinas	México	São Tomé e Príncipe
Azerbaijão	Gabão	Mianmar	São Vicente e Granadinas
Bahamas	Gâmbia	Micronésia	Senegal
Bahrein	Gana	Moçambique	Serra Leoa
Bangladesh	Geórgia	Mongólia	Sérvia
Barbados	Granada	Montenegro	Seychelles
Belize	Guatemala	Namíbia	Somália
Benin	Guiana	Nauru	Sri Lanka
Bolívia	Guiné-Bissau	Nepal	Suazilândia
Bósnia e Herzegovina	Guiné Equatorial	Nicarágua	Sudão
Botsuana	Haiti	Níger	Suriname
Brasil	Honduras	Nigéria	Tadjiquistão
Burkina Fasso	Iêmen	Niue	Tailândia
Burundi	Ilhas Comores	Omã	Timor Leste
Butão	Ilhas Cook	Palau	Tongo
Cabo Verde	Ilhas Marshall	Panamá	Trinidad e Tobago
Camarões	Ilhas Salomão	Papua - Nova Guiné	Tunísia
Camboja	Índia	Paquistão	Turcomenistão
Cazaquistão	Indonésia	Paraguai	Tuvalu
Chile	Irã	Peru	Uganda
China	Israel	Qatar	Uruguai
Chipre	Jamaica	Quênia	Uzbequistão
Cingapura	Jordânia	Quirguistão	Vanuatu

Não-Anexo I (continuação)

Colômbia	Kiribati	República Árabe da Síria	Venezuela
Congo	Kuwait	República Árabe da Líbia	Vietnam
Costa do Marfim	Lesoto	República Centro-Africana	Zâmbia
Costa Rica	Líbano	República da Coreia	
Cuba	Libéria	República da Moldávia	

ANEXO B - PROJETOS BRASILEIROS DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

O maior número de projetos brasileiros é desenvolvido na área de geração de energia e suinocultura. Os escopos que mais reduzirão emissões de CO₂eq são os de energia renováveis, aterro sanitário e redução de N₂O. Esses três setores apresentam um potencial de redução de emissões de 259.133.362 tCO₂eq durante o primeiro período de obtenção de créditos.

Tabela 48 - Projetos de MDL no Brasil em 2010.

Projetos em Validação/Aprovação	Número de Projetos	Redução anual de emissão (tCO ₂ eq)	Redução de emissão no 1º período de obtenção de créditos (tCO ₂ eq)
Energia renovável	220	18.697.744	137.165.674
Aterro sanitário	36	11.327.606	84.210.095
Redução de N ₂ O	5	6.373.896	44.617.272
Suinocultura	74	4.140.069	38.617.535
Troca de combustível fóssil	44	3.271.519	27.382.490
Eficiência energética	28	2.027.173	19.853.258
Reflorestamento	2	434.438	13.033.140
Processos industriais	14	1.002.940	7.449.083
Resíduos	17	646.833	5.002.110
Emissões fugitivas	3	269.181	2.564.802

Fonte: Brasil (2010b).

Figura 21 – Participação dos projetos na redução das emissões de GEEs em 2010.

Fonte: Brasil (2010b). Elaboração própria.