Universidade de São Paulo
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto
Departamento de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia

ÉRICA MARINA CARVALHO DE LIMA

Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira

Ribeirão Preto

2011

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 Jr
Chefe do Departamento de Economia

ÉRICA MARINA CARVALHO DE LIMA

Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia 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.

Área de concentração: Economia do Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel

Ribeirão Preto

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Lima, Érica Marina Carvalho de
Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia
brasileira. Ribeirão Preto, 2011.
151 p. : il.; 30cm

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Economia,
Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto /USP. Área de
concentração: Economia do Meio Ambiente.
Orientador: Gurgel, Angelo Costa.

1. Políticas climáticas. 2. Mercado de carbono. 3. Equilíbrio
Geral. 4. Cap-and-trade. 5. Gases de efeito estufa.

Lima, Érica Marina Carvalho de. **Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira**. 2011. 151 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

RESUMO

Previsões alarmantes sobre o futuro do clima no planeta têm feito os debates sobre políticas climáticas virem à tona com mais vigor nos últimos anos. Nesse contexto, os países desenvolvidos, principalmente, tentam mobilizar-se à procura de mecanismos efetivos para frear os desdobramentos da ação humana sobre o clima. Mas essas medidas devem ter impactos, por meio do comércio internacional, em países que não acordaram dividir as responsabilidades do controle de emissões. Em particular, o Brasil possui papel relevante nas discussões sobre políticas climáticas, devido a aspectos como matriz energética com ênfase em fontes renováveis, produção comercial de biocombustíveis e riqueza em estoques de carbono na forma de vegetação natural. Assim, o presente trabalho pretende investigar os efeitos diretos e indiretos sobre a economia brasileira advindos de políticas climáticas prováveis de serem adotadas. A metodologia a ser utilizada baseia-se na modelagem de equilíbrio geral aplicado, considerando as especificidades da economia brasileira. Os resultados apontam que, sob a perspectiva de produção comercial de biocombustível, o Brasil se coloca como principal produtor, diminuindo sua produção de etanol, que é para uso interno, e direcionando-se para o comércio internacional do substituto não-poluinte do petróleo. Conclui-se, também, que a produção comercial de biocombustível se coloca como uma armadilha para a economia de um país, em especial o Brasil, aproveitando-se dos recursos econômicos disponíveis em detrimento do consumo interno e prejudicando também o investimento em outras atividades econômicas. Para os demais países do mundo, entretanto, a possível comercialização de biocombustíveis é benéfica por desonerar as políticas climáticas.

Palavras-chave: Políticas climáticas. Mercado de carbono. Equilíbrio Geral. Cap-and-trade. Gases de Efeito Estufa.

Lima, Érica Marina Carvalho de. **International climate policies impacts on Brazilian economy**. 2011. 151 p. Dissertation (Master's Degree) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

ABSTRACT

Alarming predictions on the global climate future has been making the climate policies discussions come along more vigorously the latest years. On this context, developed countries especially are trying to get themselves together looking for effective mechanisms to curb the consequences of human actions upon the weather. But these measures must impact, by international trade, on countries that have not agreed to share the burdens of emissions control. Particularly, Brazil has a relevant role on climate policies discussions, due to aspects like its energetic matrix with emphasis on renewable energy, its tradable production of biofuels and its rich carbon stocks in natural vegetation. So this work intends to investigate the direct and indirect impacts on Brazilian economy from possible implementation of climate policies. The methodology is based on applied general equilibrium modeling, considering the specificities of the Brazilian economy. The results point that under the perspective of biofuel commercial production, Brazil becomes the main producer, diminishing its production of ethanol for its own use, and moving toward international trade of the non-pollutant oil substitute. One can either conclude that the biofuel commercial production is a trap for economy of a country, especially Brazil, since it takes advantage of available natural resources in despite of internal consumption and even harming the investment on other economic activities. For the other countries of the world, however, the possible trading of biofuels is beneficent by unburdening the climate policies.

Keywords: Climate policies. Cap-and-trade. General Equilibrium. Greenhouse Effect Gases.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
Capítulo I Revisão sobre o tema	7
1.1 Breve histórico sobre a discussão das mudanças climáticas	8
1.2 Literatura específica: modelagem econômica para mudanças climáticas	10
Capítulo II Metodologia: o Modelo EPPA.....	16
2.1 Modelos de Equilíbrio Geral	17
2.2 O Modelo EPPA: visão geral	20
2.3 Dados.....	22
2.4 Formulação como problema de complementaridade mista.....	22
2.5 A dinâmica do modelo	35
Capítulo III Política climáticas estudadas	48
3.1 Políticas restritivas no modelo EPPA.....	49
3.2 O EU ETS	50
3.3 Projetos para os EUA	53
3.4 Cenários simulados	56
Capítulo IV Resultados	57
4.1 Referência	58
4.2 Política para a União Europeia.....	65
4.3 Política para os Estados Unidos	73
4.4 Política para os Estados Unidos e a União Europeia.....	79
4.5 Comparação dos resultados de produção de biocombustível e petróleo	85
4.6 Relaxando as hipóteses dos biocombustíveis de segunda geração.....	90
ANEXO.....	110
APÊNDICE A Formulação algébrica do Modelo EPPA	111
APÊNDICE B Cenário de referência(CB)	116
APÊNDICE C Cenário de Política na União Europeia (CB).....	121
APÊNDICE D Cenário de Política nos Estados Unidos (CB)	126
APÊNDICE E Cenário de Política nos Estados Unidos e na União Europeia (CB).....	131
APÊNDICE F Resultados para Petróleo e Biocombustíveis.....	136
APÊNDICE G Cenário de referência (SB)	138
APÊNDICE H Cenário de Política nos Estados Unidos e na União Europeia (SB).....	143

INTRODUÇÃO

As formas de vida que habitam nosso planeta se desenvolveram e se preservaram em um ambiente proporcionado pelo processo conhecido como efeito estufa, em que o calor da superfície terrestre é mantido graças a uma camada natural de gases. Entretanto, desde a Revolução Industrial e ao longo das últimas décadas, principalmente, diversas atividades antropológicas têm amplificado sobremaneira a concentração atmosférica dos gases causadores do efeito estufa. Entre essas atividades, estão a queima de combustíveis fósseis; o desmatamento; a utilização de insumos com alta concentração de nitrogênio na agricultura; a produção de gases refrigerantes (HFCs) e a criação de rebanhos, em que os dejetos são fonte de metano. A Figura 1 ilustra como a concentração dos principais poluidores causadores do efeito estufa tem aumentado drasticamente nas últimas décadas.

Figura 1 - Concentração dos Gases de Efeito Estufa de 0 a 2005

Fonte: World Meteorological Organization (WMO, 2009). Tradução própria.

Concomitantemente, previsões alarmantes sobre o futuro do clima no planeta têm feito os debates sobre políticas climáticas virem à tona com mais vigor nos últimos anos. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) estima que a temperatura média da Terra possa aumentar entre 1,1 e 6,4 °C de 1990 a 2100 (SMITH et al., 2008). Para se ter uma dimensão da importância dessa estimativa, um aquecimento global de mais de 1°C seria o mais alto do último milhão de anos (HANSEN et al., 2006). Como se supõe na análise de

dados como os da Figura 2, há evidências de que esse aumento desproporcional da temperatura terrestre esteja relacionado justamente com as emissões antropológicas dos gases de efeito estufa (HASSOL, 2004). A Figura 2 relaciona a concentração de CO₂ na atmosfera – que, como visto na Figura 1, é acompanhada pela emissão de outros GEEs – aos aumentos do uso de combustíveis fósseis e às mudanças climáticas dos últimos séculos.

Figura 2 - Mudança climática, concentrações de CO₂, uso da terra e de combustíveis fósseis
Fonte: Hassol (2004). ACIA®. Tradução própria.

Entre consequências preocupantes do aquecimento global estão o aumento considerável no aparecimento de fenômenos extremos (como furacões, tufões, ciclones, tsunamis); processos de desertificação, desestruturando ecossistemas; e o aumento do nível dos oceanos, que pode causar milhões de desabrigados de áreas costeiras ou deltas de rios por todo o mundo. De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b), já é possível atribuir efeitos como esses às mudanças climáticas dos últimos 50 anos.

Por todos esses motivos, os países desenvolvidos, principalmente, tentam mobilizar-se à procura de mecanismos mais efetivos para frear os desdobramentos da ação humana sobre o clima. A política mais comumente adotada nesse sentido são os sistemas de *cap-and-trade*, ou mercados de créditos de carbono, em que uma agência governamental estabelece a quantidade de emissões permitidas (ou nível de emissões máximo) e o comércio das mesmas determina seu preço (METCALF et al., 2008). Uma das vantagens desse sistema é a maneira de se

alterar os efeitos distributivos de uma cota de emissões, enquanto os custos marginais da redução se igualam entre os participantes deste comércio (JACOBY et al., 2008).

A União Europeia iniciou em 2005 um esquema de mercados de carbono como esse (REINAUD, 2004). O *European Union Greenhouse Gas Emission Trading System* (EU ETS) é o maior mercado de crédito de carbonos de múltiplos países do mundo. Nesse caso, as permissões são mantidas em registros de contas eletrônicas fixadas nos países membros, monitorados em nível de Administração Central na U.E. O esquema já se prepara para uma terceira fase de implantação, em que se pretende aumentar a abrangência das unidades incluídas, bem como aumentar a restrição os níveis de emissão.

Com relação aos Estados Unidos, de acordo com Paltsev et al. (2009), as propostas em circulação no Congresso podem ser divididas em três níveis de abrangência, nos quais as emissões observadas em 2008 seriam, a partir de 2012 e até o ano de 2050: 1) mantidas constantes; 2) reduzidas linearmente em 50%, ou; 3) reduzidas linearmente em 80%. Mais recentemente, o *American Clean Energy and Security Act* foi aprovado pela Câmara dos Deputados (*House of Representatives*) do Congresso Americano, prevendo a adoção de um mercado de créditos de carbono no país que deve, em linhas gerais, reduzir as emissões até 2020 em 80% em relação às emissões de 2005, em mais 58% até 2030 e, finalmente, em 17% daí até 2050, na interpretação de Paltsev et al. (2009).

Como mostra a Figura 3, as maiores regiões emissoras do mundo são os EUA, a China e a União Europeia. Como vimos acima, o sistema de créditos de carbono na União Europeia já é uma realidade, enquanto os Estados Unidos vêm discutindo propostas desde a década de 1990. Assim, para o presente estudo, o interesse não está exatamente nos maiores emissores mundiais, mas, especificamente, naqueles que, além de terem relevância econômica mundial e possivelmente afetarem o Brasil por meio do comércio internacional, têm alguma possibilidade de adotar políticas climáticas restritivas.

Alguns países não estão certos quanto à adoção de políticas climáticas, como o Canadá, por exemplo, que se encontra em uma situação de impasse, com relação à proposta de lançar um sistema de créditos de carbono. O país alega esperar as iniciativas estadunidenses para políticas de mudanças climáticas, a fim de harmonizar os propósitos de ambos os países, em se reduzir a emissão de GEEs sem prejudicar as relações comerciais (CANADA..., 2010). Da mesma forma, a Austrália, que tinha se proposto a lançar um sistema de créditos de carbono para 2010, viu seu projeto ser rejeitado por votação no Senado (DALEY, 2009).

Figura 3 - Principais emissores de gases de efeito estufa em 2000
Dados: Baumert, Herzog e Pershing (2005). Elaboração própria.

Por vez, como exemplo de políticas internacionais menores, pode-se citar a existência de dois sistemas de mercado de emissões na Holanda, um para o dióxido de carbono (CO₂) e outro para os óxidos de nitrogênio (NO_x). Outro exemplo é o de Tóquio que, em abril de 2010, lançou o primeiro sistema de créditos de carbono do continente asiático, que entrará em vigor a partir do próximo ano (SOBLE, 2010). Embora o Japão não tenha ainda conseguido estabelecer um esquema de créditos para o país como um todo, a cidade de Tóquio representa um importante passo respondendo sozinha por 5% das emissões de GEE do Japão (DALEY, 2009).

Além dos sistemas de créditos de carbono, outro instrumento possível para controle da produção de GEEs são os impostos à emissão desses gases, introduzidos em países como Suécia e Noruega e algumas províncias do Canadá, ou ainda investimentos em tecnologias de produção de energia de baixa emissão de gases de efeito estufa. Apesar da importância relativamente menor desses projetos, eles apontam uma convergência mundial em direção a esforços individuais ou coordenados no combate às mudanças climáticas.

Por outro lado, o restante dos países, apesar de colaborar com a crescente concentração de gases de efeito estufa na atmosfera ainda não apresenta projetos de mitigação de emissões relevantes. O exemplo mais evidente é a China, que tem um alto nível de

emissões, mas não apresenta projetos desse tipo¹. De acordo com Leggett, Logan e Mackey (2008), as discussões nos EUA têm levado em conta a emissão crescente na China e a incerteza na inversão dessa tendência. Apesar disso, a China discute a questão em bases populacionais, afirmando que a emissão *per capita* no país é baixa e o volume total se deve ao elevado número populacional. O Plano Nacional sobre Mudança Climática chinês, lançado em 2007, tem como meta principal apenas a redução da intensidade do uso de energia, da ordem de 20%.

Assim, diante da importância do fenômeno de aquecimento global, que cada vez mais tem mostrado desdobramentos preocupantes, o mundo vem se mobilizando de maneira um tanto titubeante a tomar medidas de mitigação dos seus efeitos. A preocupação é recente na história da humanidade, mas a gravidade do problema deve absorver de maneira crescente as atenções das autoridades mundiais.

A importância que a proposta do presente trabalho quer destacar diante de medidas como essas, adotadas em outros países, é que elas podem afetar, por meio do comércio internacional, aqueles que não acordaram dividir as responsabilidades do controle de emissões. De acordo com Babiker e Jacoby (1999), a restrição de emissões pode fazer crescer o custo de tecnologias intensivas em combustíveis emissores de carbono, por exemplo, aumentando o custo de manufaturados exportados aos países em desenvolvimento. Ainda segundo os autores, as restrições também podem diminuir a demanda por combustíveis emissores de carbono, reduzindo seus preços internacionais. Ou ainda, o controle de emissões pode deprimir a atividade econômica em países sujeitos à restrição, diminuindo a sua demanda por importações, afetando também por esse meio os países em desenvolvimento. Essa combinação de mudanças nos preços e volumes de comércio tem consequências complexas, podendo prejudicar alguns países em desenvolvimento enquanto beneficiar outros.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é analisar os possíveis impactos sobre a economia brasileira advindos da implementação dos projetos em pauta no congresso estadunidense bem como a política de créditos de carbono já em fase de implementação na União Europeia. Será utilizado um modelo² previamente construído e bastante utilizado para análise de políticas climáticas. Diferentes cenários serão simulados e os efeitos dessas políticas sobre a economia brasileira serão discutidos considerando-se aspectos como crescimento econômico, consumo agregado, mercados de energia, entre outros.

¹ Autores como Cao et al.(2008) já estudaram a possibilidade de tributação sobre emissões e verificaram um potencial ganho para o país.

² O MIT *Emissions Prediction and Policy Analysis Model* (EPPA) será descrito a seguir na metodologia.

Em particular, o Brasil, que nunca empenhou meta para a redução de emissões, apresentou na última Conferência Climática em Copenhague uma proposta de redução de 36,1% a 38,9% em relação ao que o país emitiria em 2020 se nada fosse feito (BALAZINA, 2009). De qualquer forma, o compromisso político não se apóia em propostas de implementação de tributação sobre emissões ou de sistemas de crédito de carbono, colocando em dúvida o cumprimento da meta que se diz voluntária. O embaixador brasileiro, Luiz Alberto Figueiredo Machado, apostou na redução do desmate no país para o alcance da meta ambiciosa, enquanto que, politicamente, o país se reserva o direito de não ser cobrado internacionalmente devido ao voluntarismo da proposta (BALAZINA, 2009).

O Brasil é um grande contribuinte para a emissão de gases de efeito estufa devido ao desflorestamento (Moutinho; Schwartzman, 2005). Em acréscimo, as descobertas recentes de reservas petrolíferas e os projetos de exploração do pré-sal, projetam-no como grande produtor de petróleo, que é uma das maiores fontes de combustíveis emissores de GEEs.

Por outro lado, o país é um potencial exportador de créditos de carbono através dos programas de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) sugeridos no protocolo de Quioto. E, além de ser exemplo de matriz energética de elevada participação de fontes renováveis; também se mostra bem sucedido na produção de biocombustíveis. Ademais, como aponta Diniz (2000), a Floresta Amazônica é única e tem sido prioridade na preocupação mundial com o meio ambiente.

Posto isso, o presente trabalho propõe investigar de que forma medidas prováveis de serem adotadas para o combate ao aquecimento global podem afetar o Brasil, direta ou indiretamente. Desta forma, a contribuição deste trabalho está em avaliar como a economia brasileira pode ser afetada por políticas de controle de gases de efeito estufa em outros países, bem como em contribuir para a escassa literatura sobre o tema no escopo nacional. Os trabalhos internacionais que abordam o tema de forma quantitativa³ em geral agregam o Brasil na categoria de país pertencente à América Latina, o que não permite considerar as especificidades brasileiras em termos de matriz energética, tecnologias de biocombustíveis e padrão de uso da terra e dos ambientes naturais. Por fim, a abordagem do problema através da modelagem de equilíbrio geral dinâmica, a ser discutida na metodologia, deve representar uma inovação em relação aos trabalhos nacionais, além de ser mais apropriada para a avaliação de impactos econômicos das políticas climáticas.

³ O método quantitativo utilizado em muitos dos estudos internacionais sobre o assunto, e proposto para uso no presente estudo, baseia-se na modelagem aplicada de equilíbrio geral, discutida em maiores detalhes na metodologia. Tal modelagem quantitativa é propícia para a investigação de medidas ou políticas exógenas capazes de gerar efeitos de equilíbrio geral na economia, como é o caso das políticas de mudança climática.

Capítulo I Revisão sobre o tema

O propósito deste capítulo é ilustrar as discussões sobre mudanças climáticas ao longo das últimas décadas, bem como caracterizar as principais discussões econômicas e os resultados empíricos mais importantes dos estudos a respeito das propostas políticas de mitigação do problema. Em geral, a literatura internacional analisa o Brasil em conjunto com os demais países em desenvolvimento ou o coloca em segundo plano. Por outro lado, são raros entre os estudos brasileiros existentes aqueles que abordam quantitativamente a resposta da economia à implantação de políticas climáticas em outros países.

1.1 Breve histórico sobre a discussão das mudanças climáticas

A discussão sobre mudanças climáticas passou a ser relevante durante a década de 1980, culminando, na década seguinte, em pressão para se criar um tratado internacional que abordasse o tema. Nesse contexto, foi adotada, em maio de 1992, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), entrando em vigor em março de 1994. Este passo significou o reconhecimento das mudanças climáticas como um problema global, cuja mitigação requer cooperação internacional. A partir de então, os 192 países signatários da Convenção do Clima, como é conhecida, passaram a se reunir periodicamente em discussões da Conferência das Partes (COPs).

Em 1997, a terceira realização da COP, reunida em Quioto, culminou na adoção do Protocolo de mesmo nome, fixando metas de redução dos gases de efeito estufa para os principais países emissores. O Protocolo de Quioto entrou em vigor em 2005, estabelecendo que os países industrializados reduzissem em cerca de 5,2% as emissões de gases de efeito estufa (GEE) com relação aos níveis de 1990, entre os anos de 2008 e 2012. A cada país do chamado “Anexo B”⁴ do Protocolo foi atribuída uma meta, calculada com base na sua própria contribuição para as emissões totais desde a Revolução Industrial. Isso desobrigou de qualquer limite às emissões os países em desenvolvimento, cujo processo de industrialização foi tardio, admitindo-se que suas prioridades seriam a conquista de um nível de crescimento sustentado e da erradicação da pobreza (DINIZ, 2007).

Como uma alternativa para atingir metas de redução de emissões, o Protocolo de Quioto definiu que os países desenvolvidos poderiam adotar Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL): projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa em países em desenvolvimento. Entre estes, estariam investimentos em tecnologias, substituição de energia de fonte fóssil por renovável, florestamento e reflorestamento (LOPES, 2002). Desde 2003, também estão em pauta para discussão na UNFCCC, mecanismos de incentivo à redução das emissões de gases de efeito estufa advindos do desflorestamento e da degradação dos ecossistemas florestais nos países em desenvolvimento, como o programa REDD (*Reduction in Emissions from Deforestation and Forest Degradation*), que prevê créditos de carbono para proteção das florestas tropicais (SCHLAMADINGER et al., 2007a, 2007b).

4 O Anexo B do referido protocolo é apresentado no Anexo deste trabalho.

Já em meados de 2008, em resposta à clara ameaça de mudanças climáticas, o G8 se propôs a uma meta de redução global de emissões de 50% até 2050 (JACOBY et al., 2008; PALTSEV et al., 2009). Mas, certamente, como afirmam Jacoby et al. (2008), o objetivo de 50% requer participação de um grupo de países que vá além deste pequeno grupo. A própria Convenção Climática e acordos subsidiários se apóiam na divisão desta tarefa. Entretanto, ainda que as emissões caíssem pela metade entre 2000 e 2050, a temperatura da Terra aumentaria em 2°C até 2050 (HANSEN, 2003).

Por outro lado, o protocolo de Quioto, único acordo de relevância de anos e anos de debates, tem-se mostrado insuficiente para os propósitos de redução de emissões de carbono. Os poucos países que cumpriram as suas metas, muitas vezes o fizeram apesar do aumento de emissões de CO₂. É o caso do Japão, que atingiu suas metas compensando suas emissões em projetos de MDL na China.

No final de 2009, a Conferência de Copenhaguen fechou um acordo não formal entre os países participantes, considerado como uma declaração política, apenas. Mas as negociações, como era de se esperar, contaram com inúmeros entraves, como questões políticas internas e o conflito de interesses entre países e grupos de países. Os debates foram realizados sob a égide de uma clara divisão entre os países incluídos no Anexo B do Protocolo de Quioto e os países não-inclusos, predominantemente aqueles em desenvolvimento.

Em Copenhaguen, enquanto o grupo chamado “sob o Protocolo de Quioto” preocupou-se com uma segunda etapa de implementação de soluções e da inclusão de países terceiros no mesmo tipo de engajamento, o segundo grupo esforçou-se para a consideração de projetos como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e o agora chamado REDD-plus (*Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation plus Conservation*). (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), 2010). Mas, apesar da histórica participação de chefes de Estado, somando 119 deles, a Conferência foi apenas um ponto em uma longa trajetória de negociações.

Embora se reconheça a dificuldade em conciliar interesses tão diferentes, é visível que o fruto desses encontros mundiais para negociações climáticas não têm conseguido convergir em documentos autocontidos como as propostas iniciais de cada grupo de interesse. É sob esta perspectiva que alguns países ou grupos de países têm tentado investir de maneira isolada no controle das emissões de gases de efeito estufa dentro do seu próprio território.

1.2 Literatura específica: modelagem econômica para mudanças climáticas

1.2.1 Literatura internacional

Muitos modelos vêm sendo desenvolvidos para simular políticas econômicas designadas para lidar com o problema de externalidade associado às emissões de gases de efeito estufa⁵. Mas, apesar de a literatura ser recente, há diversas aplicações desses modelos no estudo de políticas e medidas para redução de emissões de gases de efeito estufa. Alguns trabalhos analisam propostas recentes de implementação de restrições quantitativas e impostos às emissões de carbono em países como os EUA (JORGENSEN et al., 2008; METCALF et al., 2008; PALTSEV et al., 2008), o Japão (KASAHARA et al., 2007) e os da U.E. (REILLY; PALTSEV, 2006). Outros, extrapolam os efeitos dessas políticas, se adotadas, para países do mundo com um todo, agrupando-os de acordo com o objeto de interesse (BABIKER; JACOBY, 1999; BABIKER; ECKAUS, 2000)⁶. Mas, sob o ponto de vista de políticas econômicas para o Brasil, os trabalhos internacionais costumam apenas ressaltar a participação necessária de todos os países do mundo nos esforços de mitigação às emissões, sem entrar em detalhes mais específicos. Apesar de essa conclusão ser geralmente razoável, a adoção de políticas climáticas para uma grande parte de países, inclusive o Brasil, não é de possibilidade imediata.

Babiker e Eckaus (2000), por exemplo, analisam o custo sobre o PIB anual das restrições de emissão não compartilhada entre todos os países, como nas metas do Protocolo de Quioto, usando o *Emissions Prediction and Policy Analysis Model* (EPPA)⁷. Os resultados sugerem, segundo os autores, que os países do Anexo B deveriam pagar aos demais por suas emissões. Como conclusão, as definições das restrições de emissões dos GEE para cada país não têm, segundo eles, um princípio lógico, mas sim arbitrário. Isso faz com que os custos dos

⁵ Entre eles, estão modelos como WW (WHALLEY; WIGLE, 1991), GREEN (BURNIAUX et al. 1992), DICE (NORDHAUS, 1992), CRTM (RUTHERFORD, 1992), RICE (NORDHAUS; YANG, 1996), MS-MRT (BERNSTEIN et al., 1999), MERGE (MANNE; MENDELSON; RICHEL, 1995), ENTICE (POPP, 2004), EPPA (PALTSEV et al., 2005; BABIKER et al., 2008) e WITCH (BOSSETI et al., 2006).

⁶ Há outros estudos que tangenciam o tema proposto, como os que avaliam efeitos das políticas climáticas sobre o emprego (BABIKER; ECKAUS, 2007); os que investigam o papel dos diferentes tipos de gases de efeito estufa e sumidouros de carbono nas discussões de políticas (MANNE; RICHEL, 2004), os avanços tecnológicos e de P&D na avaliação das políticas de redução de gases de efeito estufa (BOSETTI et al., 2006; JAFFE et al., 2005; GOULDER; SCHNEIDER, 1999), bem como o uso das receitas associadas aos créditos de carbono para redução de outros impostos (BABIKER et al., 2003; GURGEL et al., 2007).

⁷ Trata-se de um modelo de equilíbrio geral dinâmico para a representação da economia mundial, incluindo trajetórias de emissões de GEEs ao longo do tempo para avaliar desdobramentos econômicos de políticas climáticas. O modelo EPPA será descrito com maiores detalhes no Capítulo II, que trata da metodologia do presente trabalho.

países participantes sejam drasticamente diferentes e não tenham relação consistente com sua renda ou riqueza. Finalmente, o artigo afirma que os países não incluídos no Anexo B devem ser persuadidos a reduzir suas próprias emissões, permitindo que os custos sejam distribuídos de maneira mais adequada.

Paltsev et al. (2008), ao fazer a análise das propostas de mercados de carbono que circulam atualmente no congresso dos Estados Unidos, estimam uma perda de bem-estar entre 1,5 e 2% do PIB norte-americano até 2050 devido às políticas climáticas. Esses autores também concluem que cumprir as metas propostas de mitigação das mudanças climáticas deve requerer esforços concentrados de todo o mundo. Segundo este trabalho, com o rápido crescimento dos países em desenvolvimento, se estes não controlarem suas emissões, pode haver um aumento substancial da temperatura global, mesmo que os Estados Unidos e outros países desenvolvidos tenham políticas bastante restritivas. Este resultado apenas confirma um fato bem conhecido sobre a mudança climática mundial, e a conclusão do trabalho vai de encontro com a análise feita por Babiker e Eckaus (2000).

Como complemento da análise acima, o trabalho de Metcalf et al. (2008) investiga as propostas de tributação sobre emissões utilizando-se do mesmo modelo do estudo anterior. Os autores concluem que uma alíquota inicial que cresce aos poucos com o tempo não deve reduzir as emissões de maneira significativa. Além disso, a inclusão de outros gases além do gás carbônico no esquema de tributação acaba por reduzir os custos de emissão. Por fim, afirmam que a escolha entre tributação sobre o carbono ou os sistemas de créditos de carbono pode ser feita de acordo com a sua efetividade em termos de se reduzir emissões, já que ambas as abordagens (ou uma combinação delas) podem ser igualmente eficientes para a redução de emissão dos GEE.

Jacoby et al. (2008), por sua vez, investigam tanto as políticas de sistemas de créditos de carbono como a de tributação sobre emissões, propondo que suas análises devem ajudar a ter uma visão sobre os desafios a serem enfrentados. Os autores aplicam o modelo EPPA sob um cenário de redução em 50% de emissões entre 2000 e 2050, meta que o G8 se propusera. Chegam à conclusão de que a meta é muito ambiciosa: sem a participação quase universal dos países, a redução em 50% é inatingível dada a projeção de crescimento econômico das regiões, levando-se em conta a emissão dos países sem meta. Outra conclusão obtida é de que regras de redução tão simples não podem conciliar as circunstâncias diferentes entre países. De acordo com os autores, os resultados são por vezes muito perversos, com países mais ricos tendo ótimos resultados enquanto os mais pobres têm custos substancialmente elevados. Ainda assim, mesmo sob as condições ideais em que os países dividissem as

responsabilidades para a redução, os custos de bem estar para os países desenvolvidos ainda representaria 2% do PIB em 2020 e um pouco mais de 10% em 2050.

O trabalho de Paltsev et al. (2009) retoma o de Paltsev et al. (2008), atualizando hipóteses econômicas, tecnológicas e de política para melhor refletir o cenário econômico e tecnológico de então. Uma das novas conclusões é a de que as incertezas tecnológicas, apesar de terem largo efeito sobre o mix de geração, apenas afetam moderadamente o preço das emissões e o custo econômico em termos de mudanças em bem-estar de se atingir metas assumidas. A outra conclusão é a de que a forma de implementação importa, ou seja, se a credibilidade da meta para longo prazo é fraca, os preços e os custos em bem-estar mudam significativamente.

Por outro lado, conforme descrito na Introdução do presente trabalho, Babiker e Jacoby (1999) mostram que políticas climáticas adotadas em alguns países podem afetar, via comércio internacional, outros países que não participam delas. Apesar disso, são poucos os trabalhos internacionais que avaliam o impacto de políticas climáticas sobre economias como a brasileira. Apesar de Babiker e Jacoby (1999) terem feito esse tipo de análise, o Brasil não foi ressaltado na discussão, mas apenas incluído nos resultados do trabalho. Especificamente, esses autores dedicaram-se a estudar os efeitos das restrições de emissão do Protocolo de Quioto sobre alguns países e grupos de países, colocando as metas do acordo com um cenário de análise. O trabalho definiu dois grupos de países e regiões: os países listados no Anexo B do Protocolo e os demais, que incluem os exportadores de petróleo. Analisando as perdas de bem-estar com a implementação efetiva do acordo, percebeu-se que não há regras de diferenciação dos efeitos entre países de um grupo e de outro, cada qual respondendo de maneira particular. O Brasil, juntamente com a Europa Central, a Coreia e a Índia, obteve ganhos de bem-estar sob o cenário de implementação do Protocolo. O mesmo tipo de comportamento particularizado para cada região se apresentou na análise dos ganhos e perdas de comércio e de variação no PIB. Os autores concluem que países com uma economia relativamente grande e diversificada, como seria o caso do México e do Brasil, seriam afetados muito menos que países do Golfo Pérsico, por exemplo, onde a renda nacional é, em grande parte, advinda do petróleo.

Enquanto alguns trabalhos acima recorrem a uma análise pouco aprofundada sobre os impactos em países terceiros, incluindo o Brasil, outros não o consideram em suas análises como país distinto da América Latina. É importante, desta forma, retomar análises como as aqui descritas – no que concerne à prática de políticas de redução às emissões – e avaliá-las com o interesse voltado para o Brasil. Em acréscimo, será de maior utilidade se as políticas

avaliadas se assemelharem às possíveis de serem implementadas nos próximos anos, em contraposição a uma análise não factível como, por exemplo, sobre o que ocorreria se o Protocolo de Quioto fosse levado a efeito.

1.2.2 Literatura nacional

No Brasil, apesar de a literatura sobre o tema ser ainda relativamente escassa, alguns estudos sobre aspectos econômicos relacionados às mudanças climáticas vêm sendo desenvolvidos. Alguns trabalhos trazem análises e reflexões qualitativas em torno das discussões sobre o papel do Brasil e da política ambiental nas discussões sobre mudança climática bem como no Protocolo de Quioto (DINIZ, 2000, 2007; VIOLA, 2002, 2004). Outros, investigam as possibilidades para o setor energético brasileiro advindas dos projetos de MDL (Moreira; Giometti, 2008) e aspectos quantitativos e estimativas de potenciais e impactos de créditos de carbono na região amazônica ligados ao REDD (DIAZ; SCHWARTZMAN, 2005).

Existem também alguns estudos em termos de estimativas de emissões e impactos ambientais, contudo, não diretamente relacionados às discussões em torno das mudanças climáticas. Entre eles pode-se citar Seroa da Motta (2005), que estimou os impactos ambientais das indústrias brasileiras em cenários de acordos comerciais e Guilhoto et al. (2002), que avaliou possíveis impactos ambientais e regionais do crescimento da economia. Outro estudo conduzido por Hilgemberg e Guilhoto (2006), por sua vez, quantificou as emissões do gás CO₂ pelas indústrias brasileiras, utilizando um modelo de insumo-produto que não permite a substituição entre fontes energéticas.

De qualquer forma, são poucos os estudos quantitativos brasileiros sobre os impactos econômicos advindos da aplicação de políticas e instrumentos de mitigação das mudanças climáticas em nível global, internacional ou doméstico. Entre eles, está Diniz (2000), que, após uma introdução sobre a situação brasileira na agenda ambiental mundial e uma contextualização internacional, apresenta a versão modificada do modelo de Solow para inclusão da poluição e o conceito teórico de Curva Ambiental de Kuznets (CAK), representativa do seguinte comportamento: “durante uma fase inicial o crescimento do país produz um aumento de poluição, e em uma fase avançada o mesmo crescimento está associado a uma diminuição da poluição” (DINIZ, 2000, p. 7). O trabalho investiga por meio de econometria de séries temporais a relação entre crescimento do PIB e poluição, procurando evidências empíricas da CAK. Os testes de hipótese apontam a existência de cointegração

entre os dois e, por isso, conclui-se que há um dilema econômico entre crescimento e redução das emissões. Assim, segundo Diniz (2000), a relação postulada pela CAK só poderia ser induzida por meio de uma combinação de política de reflorestamento e continuidade na promoção do desenvolvimento.

Uma análise para o mercado de carbono no Brasil encontra-se em Rocha (2003), que utiliza o ferramental CERT (Carbon Emission Reduction Trade), um “metamodelo” que contém informações de outros modelos. O trabalho consiste em encontrar resultados para a aplicação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no país, averiguando a participação do Brasil no mercado de Certificados de Emissões Reduzidas, mas não investiga os efeitos no de políticas climáticas adotadas em países terceiros.

Minchetti (2009), em seu turno, faz um comparativo entre Brasil, China e Índia, no que diz respeito à obtenção de certificados de emissão reduzida (CERs). Utiliza-se de estatísticas descritivas e a metodologia de cálculo do fator de emissão baseada na matriz energética para obtenção dos CERs. A conclusão da autora é que o trio de países lidera o ranking de países em desenvolvimento com maior participação nesse mercado, estando a China em primeiro lugar, seguida de Índia e Brasil. A maior perspectiva brasileira nesse sentido seria em projetos de florestamento e reflorestamento, o que explicaria, em parte, seu engajamento em projetos como o REDD. Entretanto, as perspectivas do mercado de carbono para o Brasil estariam fortemente dependentes de regulamentação por legislação nacional.

Por sua vez, a tese de Lopes (2003) tem por objetivo construir um modelo aplicado de equilíbrio geral para avaliar a economia brasileira no caso de uma taxação na emissão de GEEs adotada no país. Trata-se do BR-Green, construído a partir do MMRP-Green, o qual foi desenvolvido para a economia australiana. A conclusão da aplicação do modelo é de que haveria uma efetiva redução na emissão de CO₂, que, por seu turno, provocaria um desaquecimento na economia nacional, em especial nos setores exportadores que apresentam a maior demanda de derivados de petróleo, devido ao aumento nos custos de produção.

Ferreira Filho e Rocha (2007) também se utilizam de um modelo derivado do mesmo MMRP-Green, adaptado para a economia brasileira, para estudar os impactos que introdução de um imposto sobre emissões de gases causadores do efeito estufa teria sobre a economia brasileira. Como o modelo permite analisar dois tipos de emissão, aquelas advindas do uso de combustíveis fósseis e as que são subproduto das atividades dos setores produtivos, foi possível que os autores chegassem à conclusão de que a segunda fonte de emissão é mais importante que a primeira no caso de uma possível tributação, pois esta seria mais eficiente. Apesar disso, o resultado desse tipo de tributação sobre a atividade econômica levaria ao

aumento nos preços dos alimentos. Mas, de maneira geral, as diferentes formas de introdução de um imposto geraram resultados distintos para os cenários simulados e, em cada um deles, houve diferenças substanciais de resposta entre os setores. De qualquer forma, políticas industriais que viabilizassem a mudança tecnológica em resposta à mudança de preços relativos resultante da tributação poderiam aumentar fortemente a sua eficiência sobre a redução de emissões.

Como se vê, nos últimos anos têm se multiplicado os trabalhos brasileiros de análise de políticas de mitigação às emissões. Apesar disso, a proposta de análise de efeitos para o Brasil de políticas climáticas adotadas em terceiros países é relativamente pouco estudada. Porto Jr. e Feijó (2009) têm objetivos próximos aos que serão desenvolvidos no Capítulo IV deste trabalho. Os autores analisam os efeitos para o Brasil das reduções de emissão de CO₂ sugeridas pelo Protocolo de Quioto, incluindo, em cenários alternativos, a participação brasileira nos esforços de mitigação para comparar com os casos de não-cooperação. Os autores construíram cenários alternativos para as reduções do gás para os signatários do Protocolo, admitindo também a possibilidade do comércio de emissões. A análise realizada foi a partir de uma simulação de modelagem de equilíbrio geral, por meio do GTAP-E – uma versão modificada do GTAP (*Global Trade Analysis Project*). O trabalho de Porto Jr. e Feijó (2009) chega à conclusão de que há um dilema econômico entre eficiência alocativa e meio-ambiente limpo. Entre as situações estudadas, a melhor posição estratégica do Brasil seria participar diretamente do processo de redução de emissões.

Em síntese, apesar de a literatura nacional sobre o tema estar crescendo, o Brasil ainda carece de estudos sobre os impactos de políticas de mitigação das mudanças climáticas globais, sobretudo quando se trata de medidas factíveis e possíveis de serem adotadas para os próximos anos. Essa análise poderia fornecer informações relevantes aos formuladores de políticas e tomadores de decisão nos processos de negociações e fóruns de discussões internacionais sobre o tema. Um diferencial da proposta de pesquisa aqui discutida com relação aos primeiros trabalhos brasileiros sobre o tema é a modelagem de equilíbrio geral, já consagrada na literatura internacional e que começa a ser utilizada no país, em trabalhos como os de Lopes (2003), Ferreira Filho e Rocha (2007) e Porto Jr. e Feijó (2009). De fato, o presente trabalho se coloca, justamente, a fim de trazer luz aos desdobramentos para a economia brasileira em cenários de políticas econômicas possíveis no futuro próximo, aliando a isso uma modelagem econômica quantitativa que leve em conta a dinâmica das economias no tempo e a representação das relações entre países e regiões em um contexto da economia mundial.

Capítulo II Metodologia: o Modelo EPPA

A proposta de pesquisa aqui colocada consiste em desenvolver, a partir de um modelo prévio, uma análise específica para o caso brasileiro sobre o efeito dos mercados de carbono existentes ou em desenvolvimento em países desenvolvidos. O modelo EPPA (*Emissions Prediction and Policy Analysis*) é um modelo de equilíbrio geral computável da economia mundial para dezesseis países e regiões. Foi desenvolvido pelo *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change* para simular cenários de emissões antropogênicas de gases de efeito estufa e estimar o impacto econômico de políticas de mitigação das mudanças climáticas. Este capítulo destina-se a introduzir o conceito de modelagem de equilíbrio geral e discutir as principais características do modelo específico.

2.1 Modelos de Equilíbrio Geral

A Teoria de Equilíbrio Geral é um ramo da economia neoclássica que procura explicar o comportamento da oferta, da demanda e dos preços em uma economia completa, com vários mercados. A Teoria, desenvolvida a partir dos anos de 1870, principalmente a partir do trabalho de Léon Walras, busca provar que os preços de todos os bens podem se equilibrar conjuntamente e que esse equilíbrio existe. A Teoria de Equilíbrio Geral considera que os preços de equilíbrio são preços de longo prazo e que os preços reais da economia são desvios desse equilíbrio. Ela tanto estuda as economias usando o modelo de precificação para o equilíbrio, quanto procura determinar em quais circunstâncias as hipóteses de equilíbrio geral se mantêm.

A vantagem da abordagem de equilíbrio geral – em contraste com a de equilíbrio *parcial* – é que, em um sistema de mercado, os preços e a produção de todos os bens são inter-relacionados. A mudança no preço de um bem, por exemplo, pode afetar salários, que por sua vez se refletirão na demanda, alterando o equilíbrio em vários mercados.

Desse modo, definem-se os modelos de equilíbrio geral, de acordo com Shoven e Whalley (1998), como aqueles que são representados pelas interações entre múltiplos agentes que buscam a otimização individual e interagem através dos mercados de bens e fatores de produção. O equilíbrio em um modelo desta classe é obtido quando todas as variáveis endógenas (preços e quantidades) ajustam-se de forma que os agentes, sujeitos às suas restrições, não podem melhorar sua situação alterando seu comportamento. Dessa forma, oferta e demanda se igualam em todos os mercados, firmas sob retornos constantes à escala auferem lucros normais e despesas dos agentes se ajustam às suas receitas.

Assim, os modelos de equilíbrio geral na tradição microeconômica tipicamente envolvem inúmeros mercados de bens diferentes. Por isso, eles são usualmente complexos e requerem o auxílio de *softwares* para encontrar as soluções numéricas. A modelagem de equilíbrio geral é bastante útil na análise da economia real e de instrumentos reais de política e se torna de fácil implementação com o uso de programas de otimização, como o General Algebraic Modeling System (GAMS) (BROOKE et al., 1998). Nesse caso, é necessário especificar formas funcionais para funções de produção, preferências e comportamentos dos agentes.

Posto isso, os chamados modelos de equilíbrio geral computáveis, EGC, são a aplicação desse tipo de modelo com a utilização de dados econômicos reais para estimar o quanto uma economia deve reagir a mudanças em políticas, tecnologia ou outros fatores

externos. Apesar disso, a maior parte dos modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) não está totalmente restrita ao paradigma de Equilíbrio Geral. Por exemplo, eles podem permitir representar situações como:

- 1) Que o mercado não se equilibre, em especial o de trabalho, permitindo desemprego, como também para as commodities;
- 2) Competição imperfeita (por exemplo, precificação de monopólio);
- 3) Demandas não influenciadas pelo preço (por exemplo, demandas de governo);
- 4) Um conjunto de impostos;
- 5) Externalidades, como a poluição;

Contudo, algumas críticas são levantadas a esse tipo de modelagem, como o fato de que os critérios de seleção para os parâmetros e as formas funcionais estão em desacordo com as práticas econométricas mais recentes. Especificamente, há uma dificuldade de se flexibilizar as formas funcionais utilizadas, já que a monotonicidade deve ser, em geral, mantida. Além da crítica endereçada à modelagem, os modelos de equilíbrio geral utilizam a teoria microeconômica, e como todo exercício de modelagem, possui limitações para representar a realidade da economia, ou seja, é necessário impor algumas simplificações ao modelo para torná-lo possível de ser trabalhado.

A Figura 4 abaixo esclarece a representação teórica de uma economia, cujas simplificações permitem observar esquematicamente as relações que um modelo de Equilíbrio Geral Computável considera.

Figura 4 - Esquema da modelagem de equilíbrio geral
Fonte: Piermartini e Teh (2005). Tradução Própria.

Os fatores primários e os insumos intermediários, que também incluem os chamados bens de capital, são direcionados para a produção na economia, que será destinada à exportação ou a compor a oferta doméstica por bens e serviços. Somada à produção doméstica, as importações se destinam ao consumo intermediário dos setores, às famílias e ao governo. Esses dois últimos agentes podem ser representados no modelo por um único agente, que lançará mão de fatores de produção para realimentar o ciclo. O restante da oferta doméstica se comportará como insumos à produção, completando-se o ciclo desta economia representativa.

Para a formulação de um modelo de equilíbrio geral, segundo Shoven e Whalley (1998), são necessários os seguintes passos:

- 1) Especificar as dimensões do modelo: número de bens, de consumidores, de fatores primários, de países, de setores produtivos e mercados;
- 2) Escolher formas funcionais de funções de produção e de transformação, de utilidade; e especificar as restrições;
- 3) Construir conjunto de microdados;
- 4) Calibragem: os parâmetros são escolhidos de forma que as formas funcionais elegidas sejam consistentes (ou seja, os dados representam uma solução do modelo no equilíbrio inicial);
- 5) Replicação: simular o modelo sem choques para ver se ele se ajusta aos dados, ou seja, se a calibragem foi consistente;
- 6) Simulação de experimentos contrafactuais.

Este trabalho consistirá no desenvolvimento dos passos 4 a 6 acima, uma vez que o modelo utilizado, EPPA, já foi convenientemente construído. Os passos 4 e 5 serão desenvolvidos sem maiores observações e o passo 6 consiste em simular a adoção das políticas de mitigação de emissões de poluentes que se pretende avaliar.

Um modelo dinâmico de equilíbrio geral pode ser dinâmico-recursivo ou de otimização intertemporal. Neste trabalho, será utilizado um modelo dinâmico-recursivo, ou seja, as decisões a respeito da produção, do consumo e do investimento são feitas apenas com base nos preços do período de decisão, o que é muitas vezes denominado de expectativas “míopes” (Babiker et al., 2008). A partir dos resultados, os valores encontrados das variáveis são utilizados para a otimização em um próximo intervalo de tempo. Isso significa que, em cada período, o modelo possui um processo de solução estático para as decisões dos agentes, ou seja, independente de valores futuros esperados.

2.2 O Modelo EPPA: visão geral

O EPPA (*Emissions Prediction and Policy Analysis*) é um modelo de equilíbrio geral computável multirregional e multisectorial, que representa o fluxo circular de bens e serviços na economia mundial. O modelo é resolvido em intervalos de cinco anos, entre 2005 e 2100, fornecendo projeções das emissões do desenvolvimento econômico mundial para dezesseis países e regiões. É utilizado para analisar o processo que leva a emissões de gases de efeito estufa e para acessar as consequências de propostas de políticas climáticas, provendo estimativas da magnitude e distribuição entre nações de seus custos e esclarecendo o modo como as mudanças ocorrem via comércio internacional. Os países e regiões, bem como os setores e fatores considerados no EPPA estão descritos na Tabela 1:

Tabela 1 - Países, Regiões e Setores do Modelo EPPA		
País ou Região	Setores	Fatores
Desenvolvidos	Não-Energéticos	Capital
Estados Unidos	Agricultura - Culturas	Trabalho
Canadá	Agricultura - Pecuária	Recursos de petróleo bruto
Japão	Agricultura - Silvicultura	Recursos de Gás natural
União Europeia	Alimentos	Recursos de carvão
Austrália e Nova Zelândia	Serviços	Recursos de petróleo mineral
Federação Russa	Produtos intensivos em energia	Recursos nucleares
Leste Europeu	Outros produtos industriais	Recursos hidroelétricos
	Transporte industrial	Recursos eólicos e solares
	Transporte urbano	Terra
Em Desenvolvimento	De Energia	
Índia	Carvão	
China	Petróleo bruto	
Brasil	Petróleo refinado	
Leste Asiático com maior renda	Gás natural	
México	Elétrica: fóssil	
América Latina	Elétrica: hidro	
Oriente Médio	Elétrica: nuclear	
África	Elétrica: solar e eólica	
Resto da Ásia	Elétrica: biomassa	
	Elétrica: CCGN*	
	Elétrica: carvão com SCC**	
	Elétrica: gás com SCC	
	Elétrica: petróleo mineral	
	Gás sintético	
	Líquidos da Biomassa	
	Etanol de cana-de-açúcar ¹	
*CCGN: Ciclo combinado de gás natural		
**SCC: Sequestro e captura de carbono.		
¹ apenas na região Brasil		

Em cada período, funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de capital, trabalho, terra, energia e insumos intermediários para gerar os bens e serviços. O EPPA gera como resultado medidas de evolução e mudanças em variáveis econômicas como: produto interno bruto, consumo agregado, nível de bem-estar, produção setorial, fluxo comercial entre países, emissões de gases de efeito estufa e índices de preços em geral.

Desenvolvido pelo *Joint Program on the Science and Policy of Global Change* do MIT, o modelo EPPA traz os setores e os fatores primários desagregados de uma forma a enfatizar a demanda e a oferta de energia, o uso de recursos e as tecnologias alternativas ao uso de combustíveis fósseis. Neste trabalho, será utilizada a versão de número cinco do modelo, o EPPA5, que traz avanços em relação à versão documentada por Paltsev et al. (2005).

No modelo em sua versão anterior, a economia brasileira encontra-se agregada à dos demais países da América Latina e, por isso, não pode ser analisada em particular. Contudo, como discutido anteriormente, justifica-se o estudo do Brasil de maneira desagregada pelas suas características diferenciadas dos demais países da América Latina, de grande disponibilidade de recursos naturais, especialmente florestais, e pela particularidade de sua matriz e tecnologias energéticas. Percebendo-se essa necessidade, a versão mais recente e em desenvolvimento do modelo pelos *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change* procura representar o Brasil de maneira desagregada dos demais países.

Pretende-se utilizar o modelo com o propósito de estimar impactos de políticas de mudanças climáticas factíveis no cenário econômico atual e que supostamente afetarão o Brasil direta ou indiretamente. Especificamente, trata-se das propostas formuladas pelo G8 ou pela administração Obama para os EUA (PALTSEV et al., 2009) e o Plano de Comércio de Emissões (ETS, na sigla em inglês) em aplicação pela União Europeia.

2.3 Dados

Os dados econômicos do modelo EPPA são construídos a partir do Global Trade Analysis Project - GTAP (NARAYANAN; WALMSLEY, 2008) um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral⁸, enquanto dados sobre energia em unidades físicas são baseados nos balanços da Agência de Energia Internacional. Já as estatísticas sobre os gases de efeito estufa (dióxido de carbono, CO₂; metano, CH₄; óxido nitroso, N₂O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre; SF₆) são obtidos de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Por fim, os dados de outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico, SO₂; óxidos de nitrogênio, NO_x, carbono, BC; carbono orgânico, OC; amônia, NH₃; monóxido de carbono, CO; e compostos orgânicos voláteis não-metano, VOC) estão no banco de dados global EDGAR (OLIVIER; BERDOWSKI, 2001), do *Global Change Master Directory*, da NASA.

2.4 Formulação como problema de complementaridade mista

O Modelo EPPA é formulado utilizando-se uma representação matemática de problemas de complementaridade mista, a ser ilustrado nesta seção, e solucionado numericamente por meio do General Algebraic Modeling System (GAMS). O software GAMS (BROOKE et al., 1998) é um sistema de programação e otimização matemática, desenvolvido para modelagens de larga escala e que permite construção de modelos facilmente adaptáveis a novas situações ou propostas.

O EPPA é desenvolvido segundo a formulação de Arrow-Debreu de representação do equilíbrio competitivo por decisões de otimização de consumidores e produtores. Conforme descrito em Mathiesen (1985), os problemas de complementaridade mista (PCMs) são escritos segundo a formulação de Arrow-Debreu, considerando-se três conjuntos de variáveis: preços, quantidades e níveis de renda. Tais variáveis satisfarão, respectivamente, as seguintes desigualdades: lucro zero, balanceamento do mercado e fechamento contábil da renda.

Seguindo essa linha, cada região do modelo EPPA possui um agente representativo que maximiza bem-estar por meio da alocação da renda sobre o consumo de bens e serviços, e cada setor produtivo na economia é representado por uma firma que escolhe os fatores

⁸ Neste trabalho é utilizada a versão mais recente, conhecida como GTAP7 (NARAYANAN; WALMSLEY, 2008).

primários e insumos intermediários para maximizar lucros dada a sua tecnologia. O modelo tem uma representação completa dos mercados, os quais se equilibram simultaneamente.

Para ilustrar a estrutura do modelo no formato PCM, a notação foi simplificada, removendo-se o subscrito r , que representa as regiões do modelo, e a complicação associada a incluir o comércio internacional na sua representação .

A condição de lucro zero significa que o lucro deve ser igual a zero para qualquer setor (incluindo os “setores” que produzem demanda agregada e investimento agregado) que produza uma quantidade positiva de produto. Em outras palavras, o valor dos insumos de qualquer atividade deve ser menor ou igual ao valor dos produtos. Caso contrário, não há atividade econômica, pois o lucro seria negativo. Em notação vetorial, essa condição pode ser escrita da seguinte maneira:

$$lucro \geq 0, y \geq 0, produto^T(-lucro) = 0 \quad (01)$$

em que y significa o nível de atividade econômica para a produção de setores com retornos constantes à escala. É importante lembrar, contudo, que o conceito econômico de “lucro” difere do da linguagem coloquial e contábil.

A condição de balanceamento no mercado requer que um preço positivo exista para qualquer bem cuja oferta se iguale à demanda, e, por outro lado, qualquer bem com excesso de oferta deve ter um preço zero. Essa condição deve ser satisfeita para todo bem e todo fator de produção, associados ao vetor de preços p , da seguinte maneira:

$$oferta - demanda \geq 0; p \geq 0; p^T(oferta - demanda) = 0 \quad (02).$$

A condição de equilíbrio da renda significa que o gasto total deve se igualar ao valor total das dotações para cada agente. Mais especificamente, para cada agente, incluindo agentes governamentais, o valor da renda deve ser igual ao valor das dotações de fatores e das rendas tributárias:

$$renda = dotações\ de\ fatores + rendas\ tributárias \quad (03).$$

2.4.1 Comportamento das firmas

Em cada região e em cada setor, uma firma representativa escolhe um nível y de produto, a partir da combinação das quantidades de fatores primários k (indexados por f) e produtos intermediários advindos de outros setores. Se π e C denotam as funções lucro e custo, respectivamente, o problema de maximização de uma firma é, portanto, o seguinte:

$$\max_{y_{ri}, x_{rji}, k_{rfi}} \pi_{ri} = p_{ri} y_{ri} - C_{ri}(p_{ri}, w_{rf}, y_{ri}) \text{ tal que } y_{ri} = \varphi_{ri}(x_{rji}, k_{rfi}) \quad (04).$$

em que o subscrito r indica a região e o setor é indicado tanto por i quanto por j , sendo y o nível de produto. Os fatores primários são representados por k e os intermediários por x .

Como será descrito a seguir, o modelo EPPA assume que a produção seja representada por tecnologias com elasticidade de substituição constante (ESC) e que exibem retornos constantes à escala. As funções homogêneas como as ESC permitem reescrever as equações em termos de custo unitário e funções de lucro unitárias. Por outro lado, os retornos constantes à escala implicam lucro zero para a firma no equilíbrio. Colocadas essas hipóteses, a equação (04) acima pode ser reescrita da seguinte forma:

$$p_{ri} = c_{ri}(p_{rj}, w_{rf}) \quad (05),$$

em que c é a função de custo unitário.

Pelo Lemma de Shephard, a demanda intermediária do setor i pelo bem j é:

$$x_{rji} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial p_{rj}} \quad (06)$$

e a demanda pelo fator f é:

$$k_{rfi} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial w_{rf}} \quad (07).$$

2.4.2 Comportamento das famílias

Um agente representativo para cada região apresenta dotações iniciais de oferta de fatores de produção, que serão vendidos ou alugados às firmas, escolhendo o nível de consumo e poupança em cada período para maximizar sua função de utilidade sujeita à restrição orçamentária, dado seu nível de renda M . Isto é: seja s a poupança, d a demanda final por bens e K a dotação de fatores agregada de um agente representativo da região r , tem-se:

$$\max_{d_{ri}, s_r} W_{ri}(d_{ri}, s_r) \text{ tal que } M_r = \sum_f w_{rf} K_{rf} = p_{rs} s_r + \sum_i p_{ri} d_{ri}, \quad (08).$$

Da mesma forma que a produção, as preferências individuais são representadas por funções de utilidade da forma ESC e, de forma semelhante, podem ser reescritas em termos de gasto unitário por região:

$$p_{rw} = E_r(p_{ri}, p_{rs}) \quad (09)$$

Supondo o nível inicial de gasto em cada região, pelo Lemma de Shephard a demanda final compensada por bens é dada por:

$$d_{ri} = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}}, \quad (10),$$

Enquanto que a demanda final compensada por poupança é:

$$s_r = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}}, \quad (11)$$

em que $\bar{m}_r$ é o nível de gastos iniciais em cada região.

O sistema de equações é fechado, sendo os preços de equilíbrio em mercados diferentes de bens e fatores de produção determinados por expressões de balanceamento dos mercados. Por simplicidade, pode-se suprimir a demanda final das categorias de investimento, governo e comércio exterior, que seguem a mesma lógica da demanda dos agentes privados. Sob essa hipótese, as equações de equilíbrio são dadas por:

$$y_{ri} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial C_{rj}}{\partial p_{ri}} + \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}}, \quad (12)$$

e

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

2.4.3 Representação no modelo

A representação da habilidade dos indivíduos em realizar escolhas entre diferentes insumos e bens, tanto na produção quanto no consumo, é fundamental no modelo EPPA. Para os setores, isso reflete a tecnologia utilizada, ou seja, a possibilidade de substituir diferentes fatores produtivos e insumos intermediários no processo produtivo. Para o consumidor representativo, a substituição entre bens e serviços ilustra as preferências dos consumidores. Tais escolhas são determinadas pelos parâmetros de elasticidades de substituição nas funções de produção e de utilidade do consumidor.

As funções de produção e de utilidade são representadas no modelo EPPA como funções de elasticidade de substituição constante (ESC) aninhadas. A estrutura aninhada permite flexibilidade na determinação de substituição entre diferentes grupos de insumos e fatores e das elasticidades de substituição, e em particular no que diz respeito a combustíveis e eletricidade e outros processos sensíveis à emissão e aos custos de mitigação.

Como se sabe, a função ESC é da forma:

$$U(x, y) = (\alpha x^\rho + (1 - \alpha)y^\rho)^{\frac{1}{\rho}}, \quad (14)$$

em que α e ρ são parâmetros. Essa função apresenta algumas propriedades interessantes do ponto de vista da microeconomia, como a homogeneidade linear e, como seu nome já diz, a elasticidade de substituição entre os dois bens x e y é constante e igual a $1/(1 - \rho)$.

A título de exemplo, faça com que $U(\cdot)$ seja a função de utilidade de um consumidor representativo e que ele se defronte com a escolha entre os dois bens x e y . Ou ainda, se $U(\cdot)$ representar uma função de produção, o produtor enfrenta a escolha do mix de insumos x e y dada a taxa marginal de substituição entre eles. Para o propósito da modelagem EPPA, os bens são considerados de dois tipos: bens Armington ou commodities⁹.

Agora suponha que x é uma cesta definida pela combinação do bem z_1 e da cesta z_2 . Esta última, por sua vez, é formada pelos bens w_1 e w_2 . Suponha que a escolha entre os bens de cada cesta continua sendo da forma ESC, conforme abaixo:

$$x(z_1, z_2) = (\alpha_1 z_1^{\rho_1} + (1 - \alpha_1) z_2^{\rho_1})^{\frac{1}{\rho_1}} \quad (15)$$

$$z_2(w_1, w_2) = (\alpha_2 w_1^{\rho_2} + (1 - \alpha_2) w_2^{\rho_2})^{\frac{1}{\rho_2}} \quad (16)$$

⁹ Bens Armington são aqueles que, mesmo semelhantes em propriedades físicas, por serem de origens diferentes são considerados substitutos não-perfeitos, e por isso, requerem uma elasticidade de substituição menor que infinito. Automóveis fabricados em diferentes regiões, por exemplo, seriam substitutos imperfeitos, enquanto commodities como o petróleo, pelo contrário, teriam elasticidade de substituição infinita.

Isso significa que a escolha do consumidor ou as possibilidades de produção, dependendo do contexto, são dadas pelos bens y , z_1 , w_1 , w_2 por meio de uma estrutura complexa chamada aninhada, que pode ser representada graficamente em forma de uma árvore tecnológica. No exemplo dado, a estrutura teria três níveis, como se observa na Figura (*) abaixo:

Figura 5 - Exemplo de estrutura aninhada

Como se poderá observar adiante, as estruturas do modelo EPPA são muito mais complexas, apresentando vários níveis de ramificação. Entretanto, para concluir, observe que o conjunto de equações (14) a (16) poderia ser reescrito para representar a escolha final de maneira direta da seguinte forma:

$$U(y, z_1, w_1, w_2) = \left(\alpha \left(\alpha_1 z_1^{\rho_1} + (1 - \alpha_1) \left((\alpha_2 w_1^{\rho_2} + (1 - \alpha_2) w_2^{\rho_2})^{\frac{1}{\rho_2}} \right)^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1}} + (1 - \alpha) y^{\rho} \right)^{\frac{1}{\rho}} \quad (17)$$

Deste modo, justifica-se a utilização de estruturas aninhadas representativas das escolhas dos agentes através das árvores tecnológicas não só pela parcimônia em comparação a um conjunto de equações, mas também pela fácil identificação de possibilidades de escolha ou de produção em relação à equação, como acima.

2.4.4 Produção

Para a representação da produção em modelos de equilíbrio geral, assume-se que cada produtor maximiza seus lucros, que são definidos como a diferença entre a renda auferida e o custo de fatores e de insumos intermediários. Os lucros são maximizados sujeitos à função de tecnologia de produção, que pode ser descrita conforme a Figura 6 a seguir. A tecnologia é especificada ou por uma função de elasticidade de substituição constante (ESC), ou, especificamente, por uma Leontief ¹⁰ em termos de quantidade de valor adicionado e insumos intermediários agregados. Apesar de a função Leontief ser a padrão, a alternativa ESC pode ser preferível em casos que a evidência empírica sugere uma possível combinação entre insumos intermediários e valor-adicionado. A Seção 2.5.2 discutirá em detalhes essa diferenciação.

Cada atividade produz um ou mais bens de acordo com coeficientes de produção fixos. A remuneração de uma atividade é definida pelo nível de atividade, pelos rendimentos e pelo preço do bem ao nível do produtor. Para a maximização, cada atividade utiliza um conjunto de fatores até o ponto em que a renda do produto marginal de cada fator é igual ao seu aluguel (preço ou salário).

Figura 6 - Esquema da tecnologia de produção

Fonte: Lofgren, Harris e Robinson (2002). Tradução Própria.

Por sua vez, as elasticidades utilizadas no modelo são especificadas na Tabela 2 abaixo:

¹⁰ Lembrando que a Leontief é um caso especial da ESC, em que a elasticidade de substituição é zero.

Tabela 2 - Valores de referência das elasticidades de substituição do setor de Produção

σ_j	Descrição	Valor	Comentários
<i>Elasticidades de Substituição do Setor de Energia</i>			
σ_{EVA}	Energia-valor adicionado	0,4 - 0,5	Aplica-se na maior parte dos setores, 0,5 para "Energia Intensivo" e "Outros"
σ_{ENOE}	Eletricidade-combustíveis agregados	0,5	Todos os setores
σ_{EN}	Entre combustíveis	1,0	Todos os setores exceto ELET
σ_{EVRA}	Energia/materiais/terra-valor adicionado	0,7	Aplica-se somente nos setores agrícolas
σ_{ER}	Energia/materiais- terra	0,6	Aplica-se somente nos setores agrícolas
σ_{AE}	Energia- materiais	0,3	Aplica-se somente nos setores agrícolas
σ_{CO}	Carvão-petróleo	0,3	Aplica-se somente em ELET
σ_{COG}	Carvão/petróleo-gás natural	1,0	Aplica-se somente em ELET
<i>Elasticidades de Substituição de outros Setores de Produção</i>			
σ_{VA}	Trabalho-capital	1,0	Em todos os setores
σ_{GR}	Recursos-todos outros insumos	0,6	Aplica-se em "Petróleo", "Carvão", "Gás natural"
σ_{NGR}	Recursos Nucleares-valor adicionado	0,04 -0,4	Varia por região
<i>Elasticidades Comerciais de Armington</i>			
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	Petróleo Refinado
σ_{MM}	Entre importações de diferentes países	0,5	Eletricidade

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

A Figura 7 mostra uma estrutura aninhada comum para os setores de Serviços, Transporte, Energia Intensiva e Outras Indústrias. Os insumos intermediários entram em uma estrutura Leontief com a cesta capital-trabalho-energia (KLE), que consiste em uma cesta de energia e valor adicionado. A parte energética da estrutura é desagregada, e inclui carvão, petróleo, gás natural e petróleo refinado.

Figura 7 - Estrutura dos Setores de Produção: Serviços, Transporte Industrial, intensivos em energia e outras indústrias

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

Por sua vez, a Figura 8 abaixo apresenta a árvore tecnológica para os setores agropecuários, incluindo de maneira explícita a terra e representa o dilema entre terra e a cesta energética e de materiais. Essa cesta recurso-intensiva entra no topo da estrutura, no mesmo nível que o valor adicionado. Como o insumo terra é o mais importante para a agricultura, a estrutura aninhada para o setor prevê a flexibilidade de representar esse insumo com os outros. Esse setor de agricultura é a representação genérica da modelagem feita, em separado, para os setores: culturas, pecuária, silvicultura. É preciso não confundi-los com o setor de alimentos que representa a indústria processadora de alimentos, utilizando como insumo os produtos dos demais setores agropecuários, mas não a terra.

Figura 8 - Estrutura dos Setores de Produção da Agricultura. As linhas verticais no ninho de insumos significam uma estrutura de produção Leontief ou de coeficientes fixos, em que a elasticidade de substituição é zero. Os ninhos finais com “...” indicam a mesma estrutura de agregação para bens importados como mostrado em detalhes para o setor Energia intensivo. O petróleo refinado é modelado como bem internacionalmente homogêneo ($\sigma_{DM} = \sigma_{MM} = \infty$)

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

A produção de eletricidade, representada na Figura 9, é o setor mais detalhado do modelo EPPA. O primeiro nível permite o tratamento de diferentes tecnologias de geração, que incluem as existentes no ano base (fóssil convencional, nuclear e hidroelétrica), como também permite o uso futuro das que não estão disponíveis no ano base. A maior parte das tecnologias avançadas entram como substitutos perfeitos da tecnologia existente. A exceção é a tecnologia eólica e solar, governada pela elasticidade de substituição σ_{EWS} . Nota-se que o ramo de energia fóssil convencional trata em conjunto as tecnologias de geração do carvão, do petróleo e do gás natural, relacionando-as por meio de substituição direta entre os combustíveis. As estruturas nuclear e hidroelétrica são mais simples, focando apenas no recurso em questão e na combinação trabalho-capital.

Figura 9 - Estrutura dos Setores de Produção: eletricidade.

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

Os setores primários de energia (Figura 10) têm uma estrutura similar ao dos outros setores anteriormente comentados, com a exceção de que estes incluem os recursos de combustíveis específicos (reservas de petróleo, gás natural e carvão), em que as elasticidades de substituição controlam a sua oferta de curto prazo, ou seja, a taxa de produção desse recurso.

Figura 10 - Setores energéticos primários (carvão, petróleo e gás)

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

Já o setor de petróleo refinado considera o petróleo como um insumo para a geração de produtos de petróleo refinado. A explicitação desse setor no modelo EPPA tem por objetivo refinar o tratamento de questões como políticas de emissão direcionadas à refinaria.

Figura 11 - Setor de petróleo refinado

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

A descrição da modelagem para novas tecnologias, de acordo com essa estrutura, será detalhada mais adiante na Seção 2.5.5.

2.4.5 Consumo

No modelo EPPA, um consumidor representativo busca a maximização da utilidade pelo consumo de bens e serviços. As elasticidades finais da demanda para esse consumidor representativo são mostradas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Valores de referência das elasticidades finais da demanda

σ_j	Descrição	Valor	Comentários
Elasticidades Finais de Demanda 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 países e crescem com a renda per capita.
σ_{CT}	Transporte-outro consumo	1,0	
σ_{PO}	Transporte comprado- próprio	0,2	
σ_{SO}	Serviços-outros	0,5	

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

A estrutura de representação dos domicílios é construída a partir da escolha do consumidor, como pode ser observado na Figura 12. A poupança entra diretamente na função

de utilidade, tornando a decisão consumo-investimento endógena. Como se observa, o modelo EPPA prevê uma estrutura aninhada que inclui um ramo energético e outro que representa o transporte familiar.

Figura 12 - Estrutura do setor das famílias. Terminações com “...” indicam a estrutura de agregação para bens importados, mostrado em detalhe para o setor agrícola (AGRI)

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

O ramo energético exclui combustíveis de transporte, que serão especificados na parte direita da estrutura. Nota-se, também, que as famílias consomem tanto o transporte próprio (automóveis de passeio combinados com combustíveis, peças e acessórios e serviços de manutenção e seguro) como transporte comprado, como aéreo, rodoviário, metroviário etc.

2.4.6 O fechamento do modelo

O fechamento macroeconômico do modelo a cada período considera que a oferta total de cada fator de produção é constante e que todos fatores, com exceção da parcela não-maleável do capital¹¹, são móveis entre setores de uma mesma região, não havendo movimento de fatores de uma região para outra. O fator terra é específico aos setores agropecuários, enquanto os recursos naturais são exclusivos dos setores extrativos para a

¹¹ A parcela não-maleável do capital é definida na modelagem de forma a representar a rigidez de curto prazo deste fator de produção. A subseção 2.5.2 explicará a diferenciação entre a parcela maleável e a não-maleável do capital em termos de representação no modelo.

produção de energia. Considera-se que não há desemprego no modelo e, portanto, os preços dos fatores são flexíveis. Pelo lado da demanda, a propensão marginal a poupar é constante e específica a cada região, sendo representada de acordo com a parcela sobre o total do consumo e poupança agregados na base inicial de dados. 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. Essa hipótese tem como fundamento não admitir desequilíbrios perenes na balança comercial, mas é considerada apenas até 2010. A partir desse ano, o modelo ajusta endogenamente o saldo das transações correntes. 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.

2.5 A dinâmica do modelo

A evolução do modelo no tempo é baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento de consumo, poupança e investimentos e pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, da energia e da terra. O crescimento na demanda por bens e serviços produzidos por cada setor, incluindo alimentos e combustíveis, ocorre à medida que o produto e a renda aumentam. Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem à medida que são utilizados, forçando o aumento no custo de extração e beneficiamento dos mesmos. Setores que usam recursos renováveis, como a terra, competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos pelos mesmos. Todos esses fenômenos, aliados a políticas simuladas, como impostos e subsídios ao uso de energia, controle nas emissões de poluentes e imposição de mandatos de percentuais mínimos de misturas de combustíveis, determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e participação das diferentes tecnologias ao longo do tempo e entre cenários alternativos. O desenvolvimento ou declínio de uma tecnologia em particular é determinado de forma endógena, de acordo com a competitividade relativa deste. O modelo fornece estimativas e previsões sobre o crescimento do Produto Interno Bruto nos países e regiões, consumo agregado e produção setorial, consumo e produção de energia em unidades

físicas, fluxos comerciais, emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes e custos econômicos das políticas simuladas.

Em resumo, há seis características críticas do EPPA que governam a evolução da economia e o comportamento de uso de energia ao longo do tempo: (1) mudanças na produtividade do trabalho e da energia, (2) a taxa de acumulação do capital, (3) o crescimento da população e da força de trabalho, (4) mudanças estruturais no consumo, (5) o esgotamento dos recursos de combustível fóssil e (6) a disponibilidade de tecnologias futuras fornecedoras de energia, chamadas aqui de *tecnologias alternativas substitutivas*¹².

2.5.1 Progresso autônomo de eficiência energética

Um dos fatos estilizados do desenvolvimento econômico é que os países tendem a usar inicialmente mais energia por unidade de PIB para depois reduzir o uso conforme suas economias se expandem de níveis de atividade baixos para outros mais altos. Nas simulações usadas para analisar políticas energéticas ou climáticas é habitual modelar essas dinâmicas por meio de tendências temporais exógenas nos coeficientes de uso da energia ou dos combustíveis fósseis como insumos. Essas tendências são aplicadas ao modelo EPPA para controlar a evolução dos fatores redutores da demanda que escalonam o uso, pelos setores de produção, de energia por unidade de produto. A taxa de crescimento desses fatores é chamada *progresso autônomo de eficiência energética (PAEE)*, que é uma parametrização de forma reduzida da evolução de mudanças não induzidas pelo preço, mas tecnologicamente direcionadas, na demanda por energia. O EPPA diferencia a taxa de PAEE entre regiões, entre setores de energia e não-energéticos da economia.

As taxas de crescimento são as mesmas entre as regiões desenvolvidas e para a China, cuja emergência gradual da produção a partir de sistemas sem mercado parece ter eficiência crescente de alocação de recursos e uma queda bem veloz no uso de energia por unidade de produto. Esse padrão é diferente para outros países em desenvolvimento, que têm mostrado pouca redução ou até aumentos na intensidade de energia. Para seguir o padrão histórico das economias em desenvolvimento, assumiu-se, na construção do modelo, um decréscimo gradual no PAEE para as próximas décadas e melhorias de eficiência energética para o final do século. A trajetória real do uso de energia por unidade de produto que resulta da simulação do modelo depende dos preços da energia e de outras mudanças estruturais.

¹² Ou tecnologia de *backstop*.

2.5.2 O Estoque de capital e sua evolução

No modelo EPPA, enquanto o investimento é representado por um setor produtivo específico, a poupança é determinada pela função de utilidade do agente representativo. Deste modo, a poupança e o investimento são baseados em variáveis do período corrente, devendo se igualar a cada período. O investimento agregado é então distribuído entre os setores da economia atendendo à demanda setorial por investimentos (formação bruta de capital fixo mais variação de estoques).

Cabe ressaltar que a acumulação de capital é contabilizada a partir da adição de investimento ao estoque já existente, com reposição da depreciação dada e contribuição para a formação de capital do período seguinte. A propensão marginal a poupar é mantida constante ao longo do tempo, evitando assim choques relacionados aos ciclos econômicos.

Os dados econômicos são os dados do GTAP 7 (NARAYANAN; WALMSLEY, 2008), que incluem um conjunto de contas detalhando a demanda por investimento por setor em cada região para o ano base de 2004. O ajustamento nos níveis de capital foram realizados conforme descrito em Paltsev et al. (2005), considerando que a contabilidade do estoque de capital usualmente é problemática devido às questões empíricas de medida. Como exemplo, os dados regionais do ano base sobre estoques de capital e produto fornecidos pelo GTAP7 geram razões capital-produto que divergem consideravelmente do intervalo observado na realidade. Dessa forma, o procedimento de ajustamento consiste na calibragem dos estoques iniciais de capital, aceitando como mais acurados os fluxos de investimento regionais iniciais e utilizando-os para determinar os fatores de escala que forneceriam razões de capital-trabalho iniciais e taxas de retorno mais plausíveis para as regiões especificadas no modelo. Dadas essas estimativas de estoque de capital inicial, é possível especificar a dinâmica do processo de evolução do capital, conforme descrito mais adiante. Dadas as estimativas de estoque de capital inicial, é possível especificar a dinâmica do processo de evolução do capital, conforme descrito mais adiante.

Para captar a dificuldade de se converter o capital de uma atividade em fator produtivo de uso alternativo, o estoque de capital é classificado em maleável e não-maleável. A porção maleável do estoque de capital de cada setor é descrita por funções ESC aninhadas, ou seja, com elasticidade de substituição não-nula, como mostrado nas Figuras 7 a 12. Já a porção não-maleável do estoque de capital é definida por funções do tipo Leontief, isto é, não há possibilidade de substituição entre capital e outros insumos ou fatores.

A resposta de substituição de um único período a uma mudança nos seus preços é uma combinação das possibilidades de substituição de longo prazo (ponderadas pelo produto produzido pelo capital maleável) e da falta de substituição (ponderada pelo produto produzido com o capital depreciado e não-maleável). Essa distinção representará a rigidez de curto prazo nas economias, uma vez que não há a flexibilidade de se converter máquinas, equipamentos e edifícios de uma atividade em outra em curtos espaços de tempo. No caso dos setores de energia, fundamentais para o estudo do problema em questão, a falta de maleabilidade do capital permite representar o longo tempo de maturação de investimentos nesse setor e a dificuldade de converter plantas e tecnologias uma vez colocadas em funcionamento.

Em geral, quanto maior a proporção do produto setorial originada pela parte não-maleável da estrutura de produção, menores são as possibilidades de substituição. Mas, mesmo se tudo o mais permanecer constante, pode-se observar uma substituição gradual conforme o capital não-maleável se deprecia, refletindo preços relativos alterados. Assim, a atualização dinâmica do estoque de capital em cada região e setor é determinada pelo processo de depreciação. Em cada período, uma fração do capital maleável é imobilizada para se tornar parte da porção não-maleável.

Fazendo K^m representar a porção maleável do capital e K^r a porção rígida, este procedimento pode ser descrito como se segue. No começo de cada período, novo capital é instalado na forma maleável, mas ao final de cada um, uma fração ϕ desse capital se torna não-maleável e é imobilizada de acordo com as técnicas prevalecentes de produção. Deste modo, a fração $(1 - \phi)$ é a proporção do capital maleável anteriormente instalado que ainda pode ter suas proporções de insumos ajustadas sob novos preços, para se aproveitar das melhorias trazidas pelo *progresso autônomo de eficiência energética* e outras mudanças na economia. Também é possível realocar parte da fração $(1 - \phi)$ para outros setores da economia. Entretanto, isso é raro para uma economia em crescimento e sem choques fortes (causadores de colapso rápido de uma indústria), já que o estoque de capital em cada setor costuma ser crescente ou pelo menos não cai mais do que a depreciação.

Como o modelo avança no tempo, o capital rígido sofre d etapas de depreciação, mantendo os coeficientes da demanda por fatores fixos aos níveis de quando ele foi instalado. O modelo especifica $d = 1, \dots, 4$, implementadas em todos os setores industriais e nos setores de energia que incluem tecnologia avançada. Cada um dos estágios de depreciação específicos do setor é tomado ao longo do tempo como um estoque de capital em separado. Assim, a evolução do capital ao longo do tempo é representada por um conjunto de equações

dinâmicas, como se segue. O capital maleável no período $t + 1$ é formado por investimento, mais estoque de capital após depreciação, que também se mantém variável.

$$K_{t+1}^m = I_t + (1 - \varphi)(1 - \delta)K_t^m \quad (18)$$

O capital maleável é indistinguível do novo investimento, mas apresenta flexibilidade definida pelas funções de produção ESC aninhadas para ajustar as proporções de capital, trabalho, energia e outros insumos dados os preços relativos prevalecentes.

No período $t + 1$, a primeira etapa de depreciação do capital não-maleável é a porção de φ do estoque maleável no tempo t e no setor i que sobrevive ao processo de depreciação, mas permanece no setor no qual ele foi instalado com a sua proporção de fatores imobilizada:

$$K_{i,t+1,d}^r = \varphi(1 - \delta)K_{i,t}^m \text{ para } d = 1. \quad (19)$$

A produção em $t + 1$ que usa a depreciação de um capital não-maleável é sujeita a um processo de transformação de coeficientes fixos no qual as frações quantitativas de capital, trabalho e energia são ajustadas para ser idênticas às do período t . Os coeficientes dessa função de produção permanecem inalterados ao longo do tempo de vida de um dado estoque de capital a cada etapa de depreciação. Nenhum dos estoques de um capital rígido está sujeito a melhorias autônomas de eficiência energética.

Em cada setor, a quantidade de capital em cada um dos estágios de depreciação remanescentes (de 2 a 4) é simplesmente a quantidade que permaneceu após cada etapa de depreciação.

$$K_{i,t+1,d+1}^r = \varphi(1 - \delta)K_{i,t,d}^r \text{ para } d = 2,3,4. \quad (20)$$

Assume-se no modelo em questão que o capital rígido não pode ser realocado entre setores diferentes, de forma que, em cada um, a etapa de depreciação d no período t se torna a etapa $d + 1$ no período $t + 1$. Como há apenas quatro estágios de depreciação e as janelas de tempo do modelo são de cinco anos, o capital depreciado tem uma vida máxima de 25 anos, nos quais para os primeiros cinco anos seus coeficientes de insumo são idênticos aos do capital maleável e para os 20 anos seguintes ele é capital depreciado e não-maleável.

2.5.3 População, produtividade e força de trabalho

Numerosas variáveis estratégicas do modelo EPPA são determinadas por relações algébricas entre os produtos do modelo em termos *per capita*. Isso requer que o modelo acompanhe o crescimento da população em cada região durante o horizonte de simulação. O modelo EPPA compõe o crescimento da força de trabalho de acordo com dois efeitos separados: as mudanças no tamanho da força de trabalho e as mudanças no crescimento da

produtividade do trabalho. O crescimento populacional será baseado na tendência de longo prazo dos dados das Nações Unidas. A produtividade do trabalho, por sua vez, deve ser especificada de forma a permitir a reprodução de níveis de produto interno bruto nas regiões do modelo em concordância com valores observados e previsões de organizações internacionais, como o FMI e o Banco Mundial.

A produtividade do trabalho é modelada como fator-aumentativa¹³, e, portanto, não importa, para a oferta de trabalho, se a diferença se deve a um número maior de trabalhadores ou de uma maior produtividade por trabalhador. Entretanto, essa distinção fornece a capacidade de se identificar efeitos separados do crescimento populacional (sobre a força de trabalho) e do crescimento de produtividade puro. Ou seja, a força de trabalho é calculada com base na projeção populacional e isto é combinado com o crescimento da produtividade do trabalho para se computar o fator de aumento do trabalho. Especificamente, para a região r e o tempo t , a oferta de trabalho é dimensionada a partir do valor do ano base $L_{r,0}$ por um parâmetro de aumento cuja taxa de crescimento, $g_{r,t}$, representa o efeito combinado de um crescimento no insumo de trabalho em unidades naturais e taxas interligadas de aumento na produtividade do trabalho:

$$L_{r,t+1} = L_{r,0}(1 + g_{r,t})^t \quad (21)$$

A taxa de aumento, $g_{r,t}$, é agora composta por $g_{r,t}^L$, o crescimento da força de trabalho, e por $g_{r,t}^P$, o crescimento da produtividade. A especificação componente da produtividade requer uma taxa exógena inicial em $t = 0$ e uma taxa terminal em $t = T$, sendo as taxas dos períodos intermediários determinada por uma função logística:

$$g_{r,t}^P = (g_{0,t}^P - g_{T,t}^P) \frac{1+\alpha}{1+\alpha\beta t} + g_{t,T} \quad (22)$$

Os valores dos parâmetros logísticos α e β são fixados em 0,1 e 0,07, respectivamente. Essa representação significa que os ajustes aumentativos da produtividade, a partir da taxa inicial até a taxa final, têm forma de S. Esse crescimento para os dois primeiros períodos (de 2004 a 2005, e 2005 a 2010) é substituído pela especificação de um fator de aumento de forma que o crescimento simulado do PIB se assemelhe à taxa histórica e projeções para esses períodos, com base nos dados reais.

¹³ Como exemplo, considerando-se que a produtividade, P , é uma função de um fator, X , e do trabalho, L , se o conhecimento, A , entrar na função F que descreve a produtividade na forma $P = F(AX, L)$, o progresso tecnológico é chamado *fator-aumentativo* e se for $P = F(X, AL)$, por outro lado, é *trabalho-aumentativo*.

2.5.4 Insumos de recursos naturais

Todas as fontes de energia fóssil são modeladas no EPPA como recursos graduados em que o custo de produção aumenta continuamente conforme vão se esgotando. A estrutura básica para os setores produtivos de energia fóssil dada pela Figura 10, mais o modelo de esgotamento e representações de tecnologias alternativas substitutivas, descrevem a produção de combustível fóssil completamente. A estrutura graduada de recurso é refletida pela elasticidade de substituição entre o recurso e a cesta de capital-trabalho-materiais na função de produção¹⁴.

A produção em qualquer período é limitada pela substituição e pela proporção de valor de cada recurso, isto é, o coeficiente técnico do fator fixo na função de produção do setor energético. Essas proporções de valor foram determinadas de forma a representar diferenças primordiais entre regiões e entre combustíveis. Como exemplo, o custo do capital, trabalho e materiais na produção de óleo cru no Oriente Médio é relativamente baixo se comparado com o preço de mercado, implicando uma participação relativamente alta do custo com o recurso mineral no custo total de produção de petróleo.

Ao longo do tempo, os recursos energéticos R no setor e estão sujeitos à escassez com base na produção física do combustível F do período anterior. Como o EPPA se resolve recursivamente de cinco em cinco anos, o esgotamento do recurso foi aproximado nos anos intermediários por meio da multiplicação do produto de cada setor de combustível por um fator de cinco. Ou seja, no período t :

$$R_{e,t} = R_{e,t-1} - 5F_{e,t-1} \quad (23)$$

Essa especificação captura a maior parte da dinâmica de longo prazo dos preços dos recursos. Nos casos de políticas, a quantidade de recurso em termos de valor é restringida para seguir a mesma trajetória do cenário de referência, enquanto o preço do recurso é endógeno. Essa convenção implica que, entre os países do mundo, as diferenças na demanda permitem diferentes trajetórias de preço, mas todas elas são consistentes com o valor fundamental do recurso obtido na referência.

¹⁴ A elasticidade foi estimada com base na distribuição de gradações discretas de recursos para a estimativa média de recursos reportada em Edmonds et al. (1986), estabelecendo-se uma curva de oferta de elasticidade constante de longo prazo através dos intermediários de cada uma das categorias de gradação discretas naquele estudo. Nos setores produtivos de combustíveis fósseis, as elasticidades de substituição foram escolhidas de forma a gerar elasticidades de oferta que concordam com os valores ajustados das respectivas curvas de oferta de acordo com o método desenvolvido por Rutherford (1998).

2.5.5 Novas tecnologias

São considerados no modelo EPPA três possíveis formas de mudança tecnológica, como descrito em Jacoby et al. (2004). Na primeira, assume-se um incremento exógeno na oferta de trabalho (produtividade do trabalho) e de recursos naturais, levando-se em conta previsões sobre o crescimento da população, da produtividade do trabalho, da produtividade da terra e de descobertas de novas fontes de recursos naturais. Uma segunda forma de considerar a mudança tecnológica é através da redução exógena do uso de insumos por unidade de produto ao longo do tempo, como é o caso da evolução do PAEE. A terceira forma se faz por meio da inserção de tecnologias chamadas alternativas substitutivas.

Conhecida na literatura internacional como tecnologia de *backstop*, a tecnologia alternativa substitutiva é definida como uma nova tecnologia que produz um substituto próximo a um recurso exaurível, usando insumos relativamente abundantes e reproduzindo as reservas do recurso exaurível obsoleto quando o custo médio de produção dessa nova tecnologia cai abaixo do preço da anterior. A representação utilizada no modelo para esse tipo de tecnologia é feita por meio da parametrização de algumas fontes renováveis explícitas, como tecnologias eólica, solar, de biomassa e nuclear, cujos custos e intensidades de fatores são especificados com base no conhecimento atual e suas expectativas sobre o desenvolvimento das mesmas no futuro.

No modelo EPPA, a competitividade de diferentes tecnologias depende dos preços determinados endogenamente para todos os insumos que, por sua vez, dependem do esgotamento dos recursos, das políticas climáticas e de outras forças que direcionam o crescimento econômico tais como poupança, investimento e produtividade do trabalho. As opções de tecnologia avançada são resumidas na Tabela 4 a seguir.

Três tecnologias produzem substitutos para os combustíveis fósseis convencionais (gás de carvão, produto de petróleo cru do xisto e combustível refinado da biomassa). As cinco tecnologias remanescentes são tecnologias de geração de energia elétrica (biomassa, eólica e solar, ciclo combinado de gás natural com e sem captura e sequestro de carbono). Os atributos únicos dessas tecnologias são capturados pelos parâmetros das funções ESC aninhadas. A abordagem básica é similar à especificação dos outros setores da economia como descrito na Seção 2.4.

Tabela 4 - Resumo das novas tecnologias no EPPA.

Tecnologia	Descrição
Gaseificação de carvão	Converte carvão em um substituto perfeito para o gás natural.
Petróleo de xisto	Extraí e melhora o betume do xisto transformando-o em um substituto perfeito para o petróleo.
Bicombustível de biomassa	Converte biomassa em um substituto perfeito para petróleo refinado. Trata-se de um biocombustível de segunda geração.
Elettricidade de biomassa	Converte biomassa em um substituto perfeito para eletricidade.
Eólica e solar	Converte a energia eólica e solar intermitente em um substituto imperfeito para eletricidade.
Gás avançado	Tecnologia de geração de eletricidade baseada no ciclo combinado do gás natural (CCGN) que converte gás natural em eletricidade.
Gás avançado com sequestro e captura de carbono	Tecnologia de ciclo combinado do gás natural que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
Carvão avançado com sequestro e captura de carbono	Ciclo combinado integrado de gaseificação do carvão (CCIG) que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

A estrutura de produção para cada uma dessas tecnologias é mostrada nas figuras 13 a 16 abaixo, nas quais as linhas verticais no ramo de insumos significam uma estrutura de produção de coeficientes fixos (ou Leontief) em que a elasticidade de substituição é zero. Os insumos intermediários são uma combinação de domésticos e importados como nos outros setores mostrados no Capítulo II.

Figura 13 - Estrutura da produção do xisto e biocombustível

Os produtos petróleo de xisto e biocombustível têm uma estrutura de produção similar conforme mostra a Figura 13, com a diferença que os recursos para o primeiro são o conteúdo estimado das reservas de xisto, enquanto que para o biocombustível o insumo é a terra. Além disso, os recursos do xisto são esgotáveis, apesar de sua estimativa ser de uma alta

quantidade, enquanto que a terra é modelada como um recurso não esgotável cuja produtividade é aumentada exogenamente.

Figura 14 -Tecnologia bioelétricas e eólica & solar

Os setores da agricultura, como discutido previamente, e o de bio-eletricidade (Figura 14) também competem por terra. Tanto o petróleo do xisto como o biocombustível usam capital, trabalho e insumos intermediários (descrito como “outros”).

Figura 15 - Gaseificação de carvão

Já a tecnologia de gaseificação de carvão, como mostrado na Figura 15, inclui intermediários no ramo superior como insumos Leontief. Os insumos do carvão entram nesse nível e então são combinados com a cesta de valor adicionado.

Figura 16 - Eletricidade fóssil avançada

As três tecnologias avançadas de geração de eletricidade fóssil têm estruturas similares entre si, mas uma delas é mais avançada. Representadas de maneira genérica na Figura 16, essas tecnologias representam: a tecnologia de ciclo combinado de gás natural *sem* sequestro e captura de carbono; a mesma tecnologia *com* sequestro e captura de carbono; e uma tecnologia integrada de gaseificação de carvão *com* sequestro e captura de carbono. A estrutura produtiva elaborada dessas tecnologias inclui ramificações separadas para descrever o custo de transmissão e distribuição (T&D), geração e sequestro. Em contraste, para as outras tecnologias elétricas avançadas, como bio-eletricidade e eólica & solar, os custos de transmissão e distribuição estão implicitamente inclusos no capital, trabalho e cesta de outros insumos. A identificação separada desses componentes, para a eletricidade fóssil avançada, cria grande flexibilidade na estrutura. Outra diferença dessa representação é que as permissões de carbono entram em um ramo de estrutura ESC. Em síntese, essa estrutura mostra que para aumentar a taxa de captura, mais de todos os insumos para geração e sequestro de carbono serão utilizados conforme o preço do carbono aumenta. Essas tecnologias também incluem fatores fixos adicionais no topo da representação que previnem uma rápida expansão da mesma, representando custos de ajustamento.

As estruturas acima representadas seguem a organização¹⁵, em termos de fração de insumos e fator de mark-up, dada pela Tabela 5 abaixo:

¹⁵ Ver Paltsev et al. (2005) para mais informações sobre a fonte e a organização dos parâmetros e seus respectivos valores.

Tabela 5 - Mark-ups e frações de insumos para as novas tecnologias.

Oferta de Tecnologia	Proporção de Insumos								
	<i>Mark-up</i>	<i>Recurso</i>	<i>Outros</i>	<i>Capital</i>	<i>Trabalho</i>	<i>Fator fixo</i>			
Gás de carvão	3,5-4,0	0,40	0,10	0,30	0,30	--			
Petróleo de xisto	2,5-2,8	0,10	0,27	0,36	0,36	--			
Biocombustível	2,1	0,10	0,18	0,58	0,58	--			
Bio-eletricidade	1,4-2,0	0,19	0,18	0,44	0,44	0,05			
Eólica & Solar	1,0-4,0	0,05	0,25	0,40	0,40	0,05			
	<i>Mark-up</i>	<i>Fator fixo</i>	<i>Capital, Geração</i>	<i>Trabalho, Geração</i>	<i>Capital, T&D</i>	<i>Trabalho, T&D</i>	<i>Capital, seq.</i>	<i>Trabalho, seq.</i>	<i>Combustível</i>
Gás avançado	0,94	0,01	0,24	0,05	0,31	0,31	0	0	0,23
Gás avançado com SCC	1,16	0,01	0,29	0,07	0,26	0,26	0,05	0,00	0,16
Carvão avançado com SCC	1,19	0,01	0,39	0,12	0,21	0,21	0,08	0,01	0,07

Fonte: adaptado de Paltsev et al. (2005)

Como com as tecnologias convencionais, a habilidade de substituição entre os insumos em resposta a mudanças nos preços relativos é controlada pelas elasticidades de substituição conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de referência para as elasticidades nas tecnologias avançadas.

Elasticidades dos recursos e fatores fixos			
σ_{RVA}	Recurso-valor adicionado/outro	0,5	Petróleo de xisto
		0,3	Bio-elétrica
		0,1	Biocombustível
		0,02-0,06	Eólica & solar – intervalo entre as regiões
σ_{FVA}	Fator fixo-valor adicionado/outro	0,4	Bio-eletricidade
		0,6	Eólica & solar
		0,1	CCGN, CCGN & CCIG com sequestro
Valor adicionado e elasticidades dos insumos intermediários			
σ_{VAO}	Trabalho-Capital-Outro	0,2	Xisto
		1,0	Biocombustível & eletricidade, eólica & solar
σ_{VA}	Capital-Trabalho	0,5	Aplicada à gaseificação do carvão
$\sigma_{GVA, SVA, TD}$	Capital-Trabalho	0,8	Geração, transmissão e sequestro
Elasticidade de controle da taxa variável de captura de carbono			
σ_{PT}	Geração de permissões	1,0	CCGN & CCIG com sequestro

Fonte: Paltsev et al. (2005). Tradução própria.

Os fatores fixos atribuídos a cada nova tecnologia são específicos. Como discutido em Jacoby et al. (2004), as observações sobre as taxas de penetração para uma tecnologia nova em geral mostram uma penetração gradual, para a qual há inúmeros fatores contribuintes. Deste modo, o modelo EPPA replica o comportamento observado de penetração de novas tecnologias tipicamente atribuindo ao agente representativo uma quantidade pequena de recurso fixo. A dotação desse recurso cresce como uma função do produto do período anterior. A capacidade de expansão é, então, restringida em qualquer período pela quantia desse recurso de fator fixo e pela capacidade de substituir outros insumos por este. Como o produto aumenta ao longo do tempo, a dotação cresce, não havendo uma limitação significativa nessa capacidade de expansão.

A intuição por trás dessa especificação é a de que a nova indústria tem uma capacidade de engenharia limitada para construir plantas com a tecnologia nova. Em havendo demanda para expansão de capacidade, as firmas com essa possibilidade gerarão retorno. Assim, essas firmas ganham experiência e expandem a dotação do fator fixo para períodos futuros. A parametrização desse custo de ajuste é baseada na observação da capacidade de expansão das usinas nucleares a partir de sua introdução na década de 1980. Bem como para os outros setores, as tecnologias de geração de energia elétrica fóssil sofrem o processo de depreciação descrito na Seção 2.5.2.

Capítulo III Política climáticas estudadas

Neste capítulo são descritas as principais políticas climáticas adotadas até então nos Estados Unidos e na União Europeia, que darão uma perspectiva da mobilização desse grupo de países em torno do tema. Também são discutidos os prováveis próximos passos de política a serem adotados, para fundamentar a modelagem dos cenários que serão usados para a análise dos seus futuros desdobramentos econômicos. Por fim, serão apresentados os cenários selecionados para a modelagem hipotética das possibilidades em termos de políticas de mitigação à emissão dos gases de efeito estufa.

3.1 Políticas restritivas no modelo EPPA

O modelo EPPA permite a incorporação de vários tipos de políticas de controle. Pode-se incluir tributação e subsídios para combustíveis e outros tipos de produtos, bem como impostos podem ser fixados para representar o conteúdo de carbono para combustíveis diferentes. As políticas podem ser modeladas por região, por setor ou por tipo de gás de efeito estufa.

O modelo permite também aplicar restrições quantitativas nas emissões de forma independente para cada região, podendo produzir resultados para um preço autárquico em cada região ou ainda, caso seja permitido o comércio internacional de créditos de carbono (ou permissões), para preços globais. Nesse último caso, o comércio de permissões é contabilizado juntamente com outros fluxos de comércio, e, portanto, entra como parte da balança comercial e está sujeito a hipóteses de fechamento na conta de capital. Assim, os superávits associados com vendas inframarginais de permissões entram na economia exportadora e são automaticamente calculados na medida de bem-estar.

Serão investigados como formuladores de políticas climáticas os Estados Unidos e a União Europeia. A escolha das duas regiões provém da possibilidade de adoção de políticas de mitigação ao efeito estufa e da importância das duas regiões no comércio internacional como um todo e, em especial, com o Brasil. Conforme será discutido nas próximas seções, enquanto a União Europeia se encontra em concreta implementação do EU ETS, os Estados Unidos vêm discutindo no seu congresso políticas de implementação desde 1990 e tem o compromisso reafirmado pela Administração Obama.

Durante os dois primeiros períodos, o esquema se baseou em Planos de Alocação Nacional (National Allocation Plans – NAPs), em que cada membro da União Europeia determinava o nível total de suas emissões e quantas permissões cada unidade produtiva de seu país receberia. Assim, de acordo com o funcionamento padrão dos sistemas *cap-and-trade*, as companhias que mantinham emissões abaixo do nível de emissões poderiam vender o excesso. Por outro lado, as que enfrentavam dificuldade em manter suas emissões no nível permitido teriam duas opções: comprar permissões ou tomar atitudes para reduzir suas emissões, como investir em novas tecnologias ou em fontes de energia menos intensivas no uso de carbono.

Apesar de esse esquema ter a vantagem de que as escolhas são determinadas sobre as bases de custos relativos, na prática, a formulação de NAPs para os dois primeiros períodos apresentou algumas desvantagens como ter atingido um nível muito alto de complexidade ou ainda ter criado diferenças significativas nas regras de alocação, por meio de incentivos para cada país membro a favorecer sua própria indústria. Com isso, no terceiro período do EU ETS haverá um único limite para toda a União Europeia e as permissões serão alocadas com base em regras harmonizadas.

Na terceira etapa de implementação do EU ETS, o número de emissões alcançado na fase anterior será tomado como referência, estabelecendo-se uma queda anual linear de 1,74% a partir de 2013, apenas ajustado para refletir a maior abrangência do sistema, como também as pequenas instalações que tinham sido excluídas anteriormente pelos Estados Membros. O fator linear de 1,74% usado na terceira etapa se aplicará até o ano de 2020, quando começará o quarto período de comércio (de 2021 a 2028). Posteriormente, essa taxa de redução deverá ser revisada até o ano de 2025, no máximo.

Outra característica importante do Pós-2012 será o aumento linear dos níveis de inclusão para a indústria não exposta (ou seja, aquela ainda não participante do sistema), chegando a 70% por volta de 2020, para alcançar 100% em 2027.

Para a determinação da taxa de redução de 1,74% anual, foi levada em consideração a redução total de 20% dos gases de efeito estufa se comparada com 1990, ou, equivalentemente, uma redução de 14% se comparada a 2005. Para alcançar essa redução em nível geral de 14% entre 2005 a 2020, pretende-se reduzir, especificamente, em 21% as emissões dos setores hoje participantes do sistema, enquanto que os setores que ainda não participam deverão reduzi-las em 10% no mesmo período.

Tabela 7 – Emissões previstas para a União Europeia

Ano	Milhões de toneladas métricas de CO₂
2013	1.974
2014	1.937
2015	1.901
2016	1.865
2017	1.829
2018	1.792
2019	1.756
2020	1.720

Fonte: European Union Comittee (2008)

Os limites para a emissão de CO₂ nesse período serão, portanto, como apresentados na Tabela 07. Esses números foram decididos pela Comissão do EU ETS com base na escala atingida na segunda fase, podendo ser ajustados por algumas razões, entre as quais: desdobramentos não previstos da segunda fase, inclusão de pequenas instalações deixadas de lado pelos Estados Membros ou ainda a inclusão de novos membros ao esquema.

Neste trabalho será considerada, de maneira simplificada, uma política de redução de 14% das emissões em 2020 em relação a 2005, com metade desta redução (7%) em 2015. Como ainda não se determinaram metas para os anos seguintes, considerar-se-á a tendência de redução de 14% a cada década até o ano de 2050, atingindo redução de 56% neste ano, em relação às emissões de 2005, em consonância com a proposta do G8 de redução de 50% nas emissões mundiais para o período em questão.

3.3 Projetos para os EUA

Nos Estados Unidos, organizações regionais, estados e cidades estão em busca de reduções nos níveis de emissão de gases de efeito estufa, trazendo, dessa forma, experiência ao país na busca de iniciativas contra as mudanças climáticas. Entre as alternativas estão o crescimento na geração de energia renovável, a comercialização de créditos de sequestro de carbono na agricultura e o encorajamento do uso eficiente de energia. Deve-se levar em conta, entretanto, que os estados têm recursos limitados para direcionar à questão climática, já que o orçamento restrito coloca um sobrepeso na tentativa de se formular políticas climáticas de longo prazo. Além disso, falta aos estados poderes como a autoridade para acordos internacionais.

Entretanto, vinte e oito estados do país contam com planos de ação para o clima e nove têm metas de emissão para o estado como um todo, conforme a representação na Figura 18. O Estado de Nova Iorque, por exemplo, se propôs formar um programa de *cap-and-trade* para as emissões de dióxido de carbono para nove estados do Nordeste dos EUA, sendo eles Connecticut, Delaware, Maine, Nova Hampshire, Nova Jersey, Nova Iorque, e Vermont. A iniciativa, chamada de *Regional Greenhouse Gas Initiative*, foi lançada em 1º de janeiro de 2009 com a proposta de reduzir em 10% o nível de permissões para a utilização de carbono na geração de energia de cada estado entre os anos de 2009 e 2018. Em 2006, o Estado da Califórnia aprovou o “*California Global Warming Solutions Act*”. E em 2007, sete estados dos EUA e quatro províncias do Canadá se juntaram na criação da “*Western Climate Initiative*”, um sistema de comércio de emissões de GEEs. Os participantes dessa iniciativa são os estados da Califórnia, Montana, Novo México, Óregon, Utah e Washinton e as províncias canadenses de Colúmbia Britânica, Manitoba, Ontário e Quebec.

Em termos de iniciativas amplas para os EUA, talvez a mais antiga e representativa, por enquanto, é o *Acid Rain Program* [Programa Chuva Ácida], fundado em 1990, com o *Clean Air Act*. Trata-se de um sistema de comércio de emissões de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, que causam a chuva ácida. O Acid Rain Program é uma implantação de metas primárias nas usinas de energia movidas a carvão, levando-as à troca de permissões de emissão. Este programa conseguiu reduzir em cerca de 50% os níveis de emissão dos gases de 1980 a 2007.

Iniciativas de cap-and-trade nos EUA

- Western Climate Initiative - parceiro
- Western Climate Initiative - observador
- Midwestern GHG Reduction Accord - membro
- Midwestern GHG Reduction Accord - observador
- Regional Greenhouse Gas Initiative - participante
- Regional Greenhouse Gas Initiative - observador
- Programa de cap-and-trade do estado, individualmente

Figura 18 – Iniciativas de sistemas de créditos de carbono nos EUA
 Fonte: Pew Center on Global Climate Change, 2008. Tradução própria.

A partir de 2003, corporações dos EUA também podem comercializar voluntariamente permissões de emissão de CO₂ na bolsa chamada Chicago Climate Exchange. Em agosto de 2007, a Bolsa anunciou um mecanismo para criar compensações de emissão para projetos dos EUA que eliminem de forma limpa as substâncias destruidoras da camada ozônio.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*, EPA), também a partir de 2003, passou a administrar o chamado *NOx Budget Trading Program* (NBP). Trata-se de um programa de créditos de carbono baseado no mercado e criado para reduzir emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) de usinas de energia e outras fontes de combustão em massa do leste do país.

O orçamento federal dos Estados Unidos propõe apoiar o desenvolvimento da energia limpa com um investimento de US\$15 bilhões por ano, durante dez anos, gerados pela venda de créditos de emissão dos GEEs. Sob a proposta de *cap-and-trade*, todas as emissões de GEE seriam leiloadas, gerando aproximadamente US\$78,7 bilhões na renda adicional no ano fiscal de 2012, crescendo de forma sustentada para US\$83 bilhões no ano fiscal de 2019.

Em 26 de junho de 2009, foi aprovado um projeto de lei na *House of Representatives* conhecido como *American Clean Energy and Security Act* (ACES), que ainda está em consideração no Senado. É um projeto de lei com o propósito de estabelecer um sistema de créditos de carbono para os EUA, similar ao EU ETS.

O projeto de lei, também conhecido como Waxman-Markey em referência aos seus autores, propõe um limite nacional, que se reduziria ao longo do tempo, para as emissões de gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO₂), durante o período de 2012 a 2050. O principal objetivo seria uma redução em 17% das emissões em 2020, com base nos valores de 2005. A proposta está um pouco acima dos 14% defendidos pela administração Obama, mas ambos defendem chegar à meta de 80% para o ano de 2050.

O programa de *cap-and-trade* ainda em discussão no senado inclui a alocação de 85% das permissões livremente, leiloando as remanescentes. A renda gerada por essas permissões seria usada para financiar a conservação das florestas tropicais fora do país e dar suporte às famílias de baixa renda.

O projeto ainda inclui elementos importantes como:

- Subsídios para novas tecnologias de energia limpa ou eficiência energética, incluindo energia renovável (US\$90 bilhões de novos subsídios em 2025), captura e sequestro de carbono (US\$60 bilhões), veículos elétricos ou com outras tecnologias avançadas (US\$ 20 bilhões) e pesquisa e desenvolvimento científico de base (US\$20 bilhões).

- Proteção aos consumidores dos aumentos no preço de energia, pois, de acordo com o Environmental Protection Agency (EPA – Agência de Proteção Ambiental), as reduções na poluição requeridas por essa legislação custariam menos que um selo postal ao dia para as famílias norte americanas.

3.4 Cenários simulados

A partir das possibilidades de implementação de política discutidas acima, serão simulados quatro cenários além de um cenário de referência. Este último servirá como base de comparação para os outros casos. Ele representa uma trajetória da economia mundial se ela continuasse sob as mesmas dinâmicas que a determinam hoje. Assim, como a segunda fase do EU ETS já está em vigor, o cenário de referência irá captar como seria a continuidade dessa política segundo o nível de restrições atual. Em acréscimo, os casos de estudo contarão com a possibilidade de intensificação da política climática para a União Europeia, como também a adoção de um mercado de créditos de carbono nos Estados Unidos. Deste modo, são construídos os seguintes cenários de simulação:

- a) Caso de referência;
- b) Implementação da terceira fase da política na União Europeia (redução de 14% ao decênio em relação às emissões observadas em 2005), apenas;
- c) Consideração contrafactual de uma política de redução de 14% ao decênio nos EUA em relação às emissões observadas em 2005, apenas;
- d) Terceira fase na U.E. e política de redução nos EUA; ambas de 14% ao decênio;
- e) U.E. Dois cenários comparativos com relaxamento de hipóteses sobre a produção de biocombustíveis: um de referência, semelhante ao (a) e outro de política para os EUA e a U.E., semelhante ao (d).

Os cenários de políticas serão simulados no modelo EPPA como um mercado amplo de créditos de carbono na região implementadora, com os limites em emissões impostos sobre todos os gases de efeito estufa. Será considerada a possibilidade de comercialização de créditos entre diferentes setores e tipos de gases, de forma a obter um preço único em termos de dólares por unidade de CO₂ equivalente em toda a região. Os limites em emissões aplicam-se às emissões provenientes do uso de energia e de atividade dos setores (emissões fugitivas), incluindo as provenientes das atividades agropecuárias e produção de cimento, contudo, excluindo as provenientes de mudanças no uso da terra e desmatamento.

Os resultados principais da simulação dos cenários acima descritos são apresentados na próxima seção com o objetivo de avaliar o impacto de cada caso sobre a economia brasileira.

Capítulo IV Resultados

Os cenários escolhidos para análise das políticas climáticas serão analisados neste capítulo de maneira gradual com relação à inserção e intensificação das políticas climáticas, de modo a organizar a avaliação dos principais resultados. Variáveis como produto interno bruto, balança comercial, índice de bem-estar, produção energética e emissões de gases de efeito estufa são observadas para que se possa avaliar a extensão do impacto de cada política no Brasil e na América Latina, bem como nas regiões formuladoras da política, sem, contudo, desconsiderar o contexto mundial envolvido. Além das tabelas apresentadas ao longo deste capítulo, as informações mais completas para todas as regiões modeladas encontram-se no final deste trabalho, do Apêndice B ao apêndice H.

4.1 Referência

Nesta seção, serão avaliados os principais indicadores econômicos e aqueles relacionados com a emissão gases de efeito estufa para o caso em que a economia mundial não faça nenhuma nova implementação de políticas de mitigação. Trata-se de um exercício de continuidade na investigação do que aconteceria se os países continuassem com a atual política, ou sem ela se for esse o caso. Este cenário de referência (denominado “ref.” nas representações gráficas), significa, portanto, que os Estados Unidos serão avaliados ainda sem efetivação de política climática, já que atualmente encontra-se em impasse e, para a União Europeia, serão levados em conta os níveis de limite às emissões considerados atualmente, sem a intensificação da restrição. As tabelas do Apêndice B darão suporte a esta subseção no que tange aos resultados para todas as regiões.

A Figura 19 dá uma ideia de grandeza do PIB para as regiões que são de interesse, ou seja, o Brasil (BRA) e os demais países da América Latina (A.L.) como um todo, além dos países cujas políticas climáticas serão discutidas, ou seja, os EUA e a União Europeia (U.E.).

Figura 19 - PIB no cenário de referência (em trilhões de US\$)

Pela figura, é possível observar a previsão de uma taxa de crescimento do PIB mais acelerada nos EUA do que seria na União Europeia, explicada pelo fato de que esta última já vem tratando o problema climático com políticas restritivas que acabam por impactar no crescimento de longo prazo. Isso, ao longo de apenas 50 anos, leva a uma diferença

substancial da ordem de US\$6,6 bilhões. Com relação ao Brasil e à América Latina, é possível observar valores do PIB bem menos expressivos em relação aos EUA e à U.E., mas que, contudo, apresentam uma tendência de crescimento mais acentuada, como evidenciado pela Tabela 8.

Ano	EUA	U.E.	BRA	AL
2004	1,000	1,000	1,000	1,000
2005	1,030	1,019	1,132	1,055
2010	1,079	1,050	1,359	1,263
2015	1,251	1,153	1,641	1,434
2020	1,412	1,267	1,884	1,656
2025	1,590	1,385	2,181	1,921
2030	1,813	1,513	2,520	2,218
2035	2,070	1,662	2,918	2,563
2040	2,353	1,830	3,359	2,976
2045	2,671	2,025	3,899	3,467
2050	3,034	2,250	4,480	4,039

Assim, o que fica mais claro com a construção dessa tabela, não podendo ser observado em termos absolutos, é que o Brasil e a América Latina têm uma taxa de crescimento bem mais acentuada que a Europa e os Estados Unidos. Em 2050, o nível alcançado pelo crescimento no PIB verificado para o Brasil é cerca de 2,8 vezes maior do que na U.E. e 1,7 vezes maior do que nos EUA. O comportamento no PIB da União Europeia foi modelado para o cenário de referência levando-se em conta as estimativas de emissão de gases de efeito estufa do *Energy Information Administration* (EIA) e do *International Energy Agency* (IEA) e considerando um comportamento do PIB similar ao previsto pelas duas agências para os próximos cinquenta anos. A Figura 20 abaixo mostra a evolução do PIB e seus principais destinos de gastos, ou seja: consumo (C), investimento (I) e gasto do governo (G). A diferença entre o produto interno bruto e a soma desses gastos fornece o saldo da balança comercial. Entretanto, esse último saldo ficaria de difícil visualização se adicionado à Figura 20 devido à ordem das magnitudes envolvidas e, portanto, ele é apresentado apenas na Figura 21.

Figura 20 - Decomposição do PIB no cenário de referência em US\$ 10 bilhões.

Para avaliar o comportamento do PIB e de outros resultados da modelagem feita para as análises tanto do cenário de referência, quanto para as políticas simuladas, é preciso entender o procedimento de fechamento do modelo, feito a partir da balança comercial. Seria possível controlar o saldo da balança comercial exogenamente em todo o horizonte do modelo, mas, apesar de essa ser uma hipótese factível em longo prazo, o poder explicativo do comportamento da balança comercial se perderia. Em virtude disso, a programação do modelo foi feita de forma que os déficits e superávits da balança comercial convergissem para uma redução até o ano de 2010 e depois tenderiam a manter o saldo a partir de então. Ou seja, a competitividade relativa dos países no comércio internacional definiriam o resultado do saldo comercial a partir de 2010. Isso explica o comportamento gráfico da Figura 21, quando o

saldo comercial dos EUA é levado para próximo de zero em 2010 para retificar a trajetória deficitária até então. Por outro lado, a União Europeia se comporta como exceção, divergindo de zero e aprofundando o déficit comercial.

Figura 21 - Saldo na balança comercial no cenário de referência (em US\$ 10 bilhões).

A competitividade, que determina esses comportamentos no saldo comercial, é definida endogenamente como resultado das diversas mudanças nas economias ao longo do horizonte do modelo, ou seja, mudanças na produtividade do trabalho e no crescimento populacional, no padrão de consumo, na eficiência no uso de energia, esgotamento dos recursos naturais, disponibilidade de novas tecnologias e mudanças implícitas na taxa de câmbio real das economias. Como se observa na Tabela B2 dos Apêndices, o resultado desta calibragem sugere que a China continuará a ganhar competitividade em relação ao resto do mundo, e que os EUA ficarão em "segundo" lugar no superávit comercial. Esta é uma hipótese forte, mas é consequência da formulação do modelo, que tem como numerário o índice de preço da economia americana. Já a trajetória da economia europeia mostra a dependência crescente da mesma de produtos importados, com perda de competitividade dos seus produtos, mesmo apesar da calibragem para 2010. Contribui para isso o menor crescimento da produtividade nesta economia no cenário de referência, que, por sua vez, considera a continuidade de uma política de controle de gases de efeito estufa.

As projeções para as emissões de gases de efeito estufa dos próximos cinquenta anos, desconsiderando as emissões relacionadas a mudanças no uso da terra e desmatamento, podem ser observadas na Figura 22 abaixo, dadas em soma total em termos de unidades de CO₂-equivalente – uma medida padronizada de quanto aquecimento global um certo tipo e

uma certa quantidade de GEE na atmosfera pode causar, usando-se a concentração de dióxido de carbono (CO₂) como referência.

Figura 22 - GEE em milhões de toneladas métricas (mtm) de CO₂-equivalente no cenário de referência.

Como observado, as projeções para os EUA são alarmantes, apresentando uma grande aceleração a partir de 2010. Por, outro lado, os esforços da U.E. de mitigação às emissões reduzem o seu nível, de fato, nos anos iniciais, mas a simples continuação dessa política faz com que as emissões voltem ao nível inicial (de 2004) ao fim do período analisado. Essa análise justificaria a implementação de uma forte política de controle, conforme vem sendo discutido no Senado estadunidense, bem como a intensificação da política europeia caso se deseje a redução constante do nível de emissões na U.E. Apesar disso, quando se observa o valor absoluto dos números na Tabela B3 dos Apêndices, países como a Índia e, principalmente, a China apresentam resultados ainda mais expressivos e preocupantes de emissões de GEEs.

Parte do argumento dos países desenvolvidos a favor da participação do mundo como um todo e, especialmente, dos países em desenvolvimento, antes protegidos por Protocolos como o de Quioto, se justifica na análise dos números apresentados na Tabela B3. Mais uma vez, o presente trabalho é um esforço de se justificar a importância do possível engajamento da União Europeia e dos Estados Unidos, apesar de que eles não estão sozinhos estrategicamente na importância de combate às emissões. Entretanto, eles ainda são os mais prováveis de adoção de políticas climáticas.

Outro fator que será importante observar é a atual composição do produto energético dos países de interesse (Tabela 9) e do mundo como um todo (Tabelas B4 e B5 dos Apêndices), principalmente quando se levanta a hipótese do surgimento de uma nova geração

de biocombustíveis, capaz de alterar essa distribuição energética apresentada no cenário de referência.

A Tabela 9 mostra que os principais tipos de energia produzidos mundialmente são o petróleo (36,69%), seguido do carvão (33,12%) e do gás natural (24,73%). Assim, a soma dos três tipos de fonte energética chega a 94,54% de toda a energia gerada no mundo. Entre os principais produtores estão os Estados Unidos, a China e o Oriente Médio (Tabelas B4 e B5), sendo os dois primeiros intensivos na geração de energia advinda do carvão enquanto que o último é notadamente conhecido pela produção de petróleo.

Tabela 9 - Dados sobre produção energética em 2010 para o cenário de referência.				
Participação percentual na produção energética mundial				
	Estados Unidos	União Europeia	Brasil	América Latina
Participação mundial	14,87%	8,87%	1,39%	4,79%
Composição da produção energética mundial				
Petróleo	36,69%			
Carvão	33,12%			
Gás natural	24,73%			
Nuclear	2,85%			
Hidrelétrica	2,35%			
Solar e eólica	0,14%			
Etanol	0,12%			
Total	100%			
Participação de cada fonte energética nas regiões de interesse				
	Estados Unidos	União Europeia	Brasil	América Latina
Petróleo	21,98%	32,86%	62,18%	62,04%
Carvão	40,30%	21,34%	1,58%	9,34%
Gás natural	31,11%	29,79%	5,05%	23,40%
Nuclear	4,57%	11,77%	0,75%	0,21%
Hidrelétrica	1,57%	3,66%	21,80%	5,00%
Solar e eólica	0,48%	0,58%	0,00%	0,00%
Etanol	0,00%	0,00%	8,66%	0,00%
Total	100%	100%	100%	100%

Como mostra a Tabela 9, os Estados Unidos têm a produção de energia principalmente baseada na queima de carvão (40,30%), e pelo uso do gás natural (31,11%), apesar de o petróleo ainda ser a terceira maior fonte de produção energética no país (21,98%). A composição do produto energético da União Europeia é bastante similar aos Estados Unidos,

com a diferença que a participação do carvão na produção de energia cai quase que pela metade (21,34%), sendo essa diferença distribuída por entre os outros setores. Neste caso, a produção de petróleo (32,56%) e a de gás natural (32,86%) são preponderantes.

O Brasil, apesar de apresentar exclusivamente uma fonte alternativa de energia, que é o etanol, esta ainda representa pouco mais de 8,6% do produto energético, permanecendo o petróleo como o primeiro produto (62,18%) com diferença expressiva em relação ao segundo colocado na sua representatividade da matriz energética. É interessante notar que ainda é relevante a tradicional geração de energia por hidrelétricas (21,8%) em termos de produção em exa-Joules (EJ), uma característica peculiar brasileira. Por sua vez, o restante da América Latina tem um portfólio limitado de produção energética, basicamente calcado na produção de petróleo (62,04%) e gás natural (23,40%), além da queima de carvão (5%) e com alguma produção hidroelétrica.

Seria interessante analisar a evolução dessa composição de produção de energia não apenas em 2010, mas também ao longo do período simulado. Entretanto, o que se observou, para o cenário de referência, é que esta proporção parece basicamente inalterada para as regiões em análise. As Tabelas B4 e B5 dos Apêndices fazem a comparação dessa distribuição de fontes energéticas para todas as regiões do modelo em dois instantes do tempo: o início (2010) e o período final (2050) da janela de modelagem. O Brasil é o único que tem uma variação significativa nessa composição, como mostra o painel (a) da Figura 23, diminuindo relativamente a contribuição do petróleo na matriz energética, pelo aumento da participação de outras fontes energéticas, bem como pela produção de biocombustíveis de segunda geração nos últimos dois períodos do cenário de referência.

Figura 23 - Análise da distribuição energética brasileira para o cenário de referência

Por outro lado, como aponta o painel (b) da Figura 23 acima, a diminuição relativa da participação do petróleo no cenário de referência se deve à entrada e aumento de novas fontes de energia, mas não necessariamente a uma desaceleração na produção de petróleo.

4.2 Política para a União Europeia

A política climática mais propensa a ser adotada para os próximos anos, entre as estudadas, é a intensificação no controle às emissões de GEE já em andamento na União Europeia. Nesta seção, serão comparadas algumas variáveis estratégicas para o entendimento dos efeitos dessa política sobre a economia brasileira em comparação ao cenário de referência. As Tabelas do Apêndice C suprirão a necessidade de análise mundial quando necessário.

A Figura 24 mostra o impacto da redução na emissão sobre o PIB para as demais regiões de interesse, além da própria União Europeia. Como se observa, a redução de 14% das emissões de gases de efeito estufa ao decênio a partir de 2015 na União Europeia gera resultados quase sempre positivos no PIB dos Estados Unidos enquanto este não participa da

divisão da tarefa de mitigação. Por outro lado, os resultados para América Latina em termos de PIB são negativos em todo o período analisado. Para o Brasil, apesar de alguns períodos de resultado positivo, em 2030 e 2035, observa-se resultados fortemente negativos nos anos finais da política implementada na União Europeia. Os resultados observados aqui devem ser uma combinação de diferentes particularidades de cada país. Como é possível notar, o Brasil tem um resultado diferente do restante da América Latina e os mecanismos que levam a esses resultados serão avaliados de acordo com outras variáveis analisadas a seguir.

Figura 24 - Variação percentual no PIB para política apenas na U. E.

Uma forma de verificar a explicação de tais variações no PIB com relação ao cenário de referência é avaliando os fluxos do comércio internacional. A Tabela C2 dos Apêndices apresenta o saldo da balança comercial para as regiões representadas no EPPA. Como se observa, as regiões que têm maiores mudanças na balança comercial com relação ao cenário de referência são o Leste Europeu e a ex-União Soviética, com diminuições do saldo comercial e, o Brasil, com aumento do saldo em balança comercial.

Como se observa pela Tabela 10, os Estados Unidos apresentam leve aumento no saldo da balança comercial. A União Europeia, que apresenta saldo comercial negativo no cenário de referência, tem um saldo ainda mais negativo para quando ela implementa a política. É interessante notar que os maiores aumentos na balança comercial brasileira são observados a partir de 2030. Dessa forma, se torna importante analisar em maior profundidade as mudanças em exportações e importações de cada bem.

Tabela 10 - Variação no saldo da balança comercial para política na U.E. (Pol.) com relação ao cenário de referência (Ref.)

Ano		EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	Pol.	3,12	-10,28	0,42	0,90
	Ref.	3,12	-10,28	0,42	0,90
		0,01%	0,00%	0,12%	-0,01%
2020	Pol.	3,65	-12,51	0,47	1,05
	Ref.	3,64	-12,48	0,47	1,04
		0,43%	0,20%	0,64%	0,28%
2025	Pol.	4,29	-15,14	0,55	1,23
	Ref.	4,24	-15,08	0,54	1,22
		1,03%	0,41%	1,44%	0,71%
2030	Pol.	5,13	-18,27	0,68	1,42
	Ref.	5,06	-18,18	0,63	1,42
		1,23%	0,53%	7,69%	0,11%
2035	Pol.	6,04	-22,25	0,85	1,64
	Ref.	5,96	-22,12	0,74	1,65
		1,35%	0,62%	15,19%	-0,76%
2040	Pol.	7,04	-26,27	1,00	1,90
	Ref.	6,95	-26,08	0,85	1,93
		1,40%	0,73%	17,48%	-1,45%
2045	Pol.	8,13	-31,19	1,18	2,22
	Ref.	8,00	-30,91	1,06	2,25
		1,68%	0,89%	10,59%	-1,00%
2050	Ref.	9,35	-37,04	1,38	2,60
	Ref.	9,18	-36,73	1,26	2,62
		1,83%	0,85%	9,16%	-0,87%

Os dados da Tabela 11 evidenciam que ocorre um aumento nas importações líquidas de praticamente todos os bens no Brasil, com exceção do petróleo cru, até 2025, e biocombustíveis de segunda geração de 2030 a 2050. Basicamente, essa especialização brasileira em commodities energéticas é a causa da queda no PIB no modelo EPPA. O Brasil apresenta um aumento no saldo comercial agregado devido ao expressivo crescimento nas exportações de biocombustíveis a partir de 2030. Isso significa que esse setor drena recursos (capital, trabalho e terra) dos demais setores produtivos, deprimindo a produção destes e determinando uma dependência de importações e queda no consumo.

O setor de culturas apresenta importações líquidas negativas em 2015 (ou seja, é um exportador líquido). Em 2020 e 2025 praticamente não há variações nesse setor. Mas em 2030 as importações líquidas (negativas) diminuem em 43%, o que representa uma forte queda nas exportações. Essa tendência se repete até 2050. Outros setores que possuem o mesmo comportamento são os de alimentos e serviços. Por outro lado, para um setor importador

líquido, como o setor de outras indústrias (principal setor importador brasileiro no EPPA), há poucas mudanças até 2030. Mas a partir de 2035 ele aumenta as importações líquidas em 103%. Tal padrão se repete até 2050 para esse setor. Esses setores juntos (culturas, alimentos, serviços e outras indústrias) são responsáveis pela maior parte do saldo comercial atualmente e perderiam com uma possível “especialização” brasileira em biocombustíveis nas proporções induzidas pela política climática europeia.

Basicamente, o Brasil se aproveita da sua vantagem comparativa mundial na produção de biocombustível e se torna o principal fornecedor para a U.E. Esse resultado é semelhante ao efeito conhecido como “doença holandesa”, em que ocorre uma mudança estrutural na economia advinda de um *boom* em um setor de recursos naturais. Mas, de acordo com o trabalho de Bresser-Pereira (2008), o conceito de falha de mercado da “doença holandesa” pode ser estendido não só a países que exploram recursos naturais, mas também àqueles que têm uma oferta de trabalho barato abundante, bem como uma pior distribuição salarial do que a usual nos países desenvolvidos.

A grande especialização e exportação em uma commodity (mineral ou agrícola) exerceria uma pressão de apreciação da taxa de câmbio (pelo excesso de entrada de moeda estrangeira pela exportação), reduzindo a competitividade dos demais produtos e favorecendo as importações de bens manufaturados. O Brasil teria passado por algo semelhante com as exportações de café na década de 1940 (FURTADO, 2009, p. 257-267).

Tabela 11 - Fluxos brasileiros de importação líquida por setor para política na União Europeia (Pol.) em comparação à referência (Ref.) em US\$ 100 milhões.

		Culturas	Pecuária	Silvicultura	Alimentos	Carvão	Petróleo refinado	Gás natural	Elétrico	Energia intensivo	Outras indústrias	Serviços	Transporte	Bio-combustível	Petróleo
2015	Pol.	-76,05	-1,01	-0,37	-165,11	9,83	-6,85	7,50	24,02	1,53	211,00	-5,67	7,13	-	4,66
	Ref.	-76,04	-1,01	-0,37	-165,06	9,77	-6,89	7,74	24,03	1,66	211,02	-5,55	7,16	-	4,34
		0,01%	0,00%	0,00%	0,03%	0,61%	-0,58%	-3,10%	-0,04%	-7,83%	-0,01%	2,16%	-0,42%		7,37%
2020	Pol.	-89,34	-1,17	-0,43	-187,50	10,66	-11,19	8,29	25,34	-0,88	259,13	-2,44	6,14	-	4,19
	Ref.	-89,32	-1,14	-0,43	-187,48	10,48	-10,36	8,76	25,64	0,61	258,65	-2,84	7,51	-	2,31
		0,02%	2,63%	0,00%	0,01%	1,72%	8,01%	-5,37%	-1,17%		0,19%	-14,08%	-18,24%		81,39%
2025	Pol.	-87,34	-0,93	-0,47	-212,57	11,45	-17,18	9,22	27,04	-17,54	352,39	-52,17	-3,37		7,45
	Ref.	-87,31	-0,87	-0,48	-212,66	11,04	-14,96	10,24	27,89	-13,55	351,10	-53,37	0,43	-	2,92
		0,03%	6,90%	-2,08%	-0,04%	3,71%	14,84%	-9,96%	-3,05%	29,45%	0,37%	-2,25%	-883,72%		155,14%
2030	Pol.	-68,32	0,19	-0,32	-208,55	11,48	-21,81	10,80	29,20	14,22	592,42	-82,31	-8,16	-131,38	15,62
	Ref.	-120,34	-0,72	-0,48	-288,53	12,30	-24,63	18,33	31,43	-54,63	603,51	-182,23	-13,24	-	5,53
		-43,23%		-33,33%	-27,72%	-6,67%	-11,45%	-41,08%	-7,10%		-1,84%	-54,83%	-38,37%		182,46%
2035	Pol.	-74,91	1,19	-0,13	-201,23	11,92	-24,27	14,88	30,22	64,56	945,05	-72,93	-5,69	-320,49	34,5
	Ref.	-83,72	-0,56	-0,54	-243,03	11,22	-20,44	13,75	30,00	-32,03	465,24	-124,77	-8,59	-	21,82
		-10,52%		-75,93%	-17,20%	6,24%	18,74%	8,22%	0,73%		103,13%	-41,55%	-33,76%		58,11%
2040	Pol.	-102,71	1,45	-0,07	-214,10	12,51	-25,94	15,22	32,28	98,87	1226,65	-85,56	-9,83	-435,93	59,84
	Ref.	-176,59	-1,07	-0,40	-336,20	13,23	-27,68	21,20	33,94	-65,97	724,65	-231,22	-18,73	-	48,13
		-41,84%		-82,50%	-36,32%	-5,44%	-6,29%	-28,21%	-4,89%		69,27%	-63,00%	-47,52%		24,33%
2045	Pol.	-148,05	1,69	0,00	-234,91	13,20	-27,79	16,03	34,69	139,36	1547,13	-93,17	-11,87	-551,22	84,77
	Ref.	-219,79	-0,12	-0,13	-332,88	13,97	-29,13	23,29	37,00	15,93	1106,33	-188,50	-11,42	-230,7	81,84
		-32,64%			-29,43%	-5,51%	-4,60%	-31,17%	-6,24%	774,83%	39,84%	-50,57%	3,94%	138,93%	3,58%
2050	Pol.	-213,90	2,03	0,14	-252,41	13,86	-29,79	17,03	37,20	206,38	1953,47	-64,44	-7,27	-551,22	84,77
	Ref.	-304,30	0,13	0,04	-355,56	14,75	-31,67	25,41	39,88	81,45	1471,98	-158,47	-3,88	-702,92	110,19
		-29,71%		250,00%	-29,01%	-6,03%	-5,94%	-32,98%	-6,72%	153,38%	32,71%	-59,34%	87,37%	234,08%	380,79%

A Tabela 12 abaixo demonstra as variações dos componentes de gastos das regiões em análise. Como se observa, os componentes dos gastos seguem a variação do produto interno bruto causada pela adoção da política climática.

Tabela 12 - Variação dos componentes dos gastos agregados para política apenas na U.E.

% C	EUA	U.E.	BRA	A.L
2015	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2020	0,00%	-0,06%	-0,01%	-0,02%
2025	-0,01%	-0,19%	-0,05%	-0,06%
2030	0,00%	-0,33%	0,29%	-0,15%
2035	0,01%	-0,45%	0,04%	-0,28%
2040	0,04%	-0,59%	-1,29%	-0,42%
2045	0,04%	-0,81%	-3,36%	-0,43%
2050	0,06%	-1,01%	-4,20%	-0,45%
% I	EUA	U.E.	BRA	A.L
2015	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
2020	0,00%	-0,32%	0,00%	-0,02%
2025	-0,01%	-0,82%	-0,02%	-0,05%
2030	0,01%	-1,08%	0,45%	-0,09%
2035	0,04%	-1,22%	0,70%	-0,15%
2040	0,09%	-1,26%	-0,05%	-0,22%
2045	0,09%	-1,39%	-1,86%	-0,25%
2050	0,10%	-1,53%	-2,65%	-0,31%
% G	EUA	U.E.	BRA	A.L
2015	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2020	0,00%	-0,34%	-0,01%	0,00%
2025	0,00%	-0,84%	-0,03%	-0,01%
2030	0,01%	-1,01%	-0,18%	-0,01%
2035	0,03%	-1,03%	-0,42%	0,00%
2040	0,06%	-0,93%	-0,90%	0,03%
2045	0,05%	-0,81%	-1,37%	0,03%
2050	0,06%	-0,74%	-1,55%	0,06%

Para o Brasil, percebe-se que há ganhos reduzidos em consumo e investimentos em alguns poucos anos e maiores perdas nos anos finais. Essas perdas são consequência da especialização na produção de biocombustíveis para exportação (que será discutida em detalhes na seção 4.5) em detrimento à produção e exportação dos demais bens. Isso se explica pelo fato de que o biocombustível é modelado como uma *commodity* homogênea no mercado internacional, substituto perfeito do combustível fóssil, enquanto os demais bens são considerados como de Armington, ou seja, substitutos imperfeitos entre regiões diferentes.

Dessa forma, a crescente especialização na produção e exportação de biocombustível no Brasil a partir dos choques de políticas climáticas não é compensada pelo fluxo livre de outras mercadorias, que sendo tratadas como bens de Armington, sofrem de rigidez nas possibilidades de substituição entre diferentes parceiros e entre importados e domésticos e, conseqüentemente, experimentam maiores aumentos em preços internos do que o biocombustível. Assim, a renda proporcionada pelas exportações não compensa a menor renda auferida pelos demais setores da economia e os gastos com importações de outros bens.

A Figura 25 demonstra a variação do índice construído para avaliação do bem-estar do consumidor representativo de cada região. Enquanto os ganhos de bem-estar são mais ou menos que a variação no PIB para os EUA, a América Latina e o Brasil têm a tendência de perdas no índice de bem-estar mais elevadas que as perdas percentuais no PIB devido a essa diminuição no nível de consumo do agente representativo explicada acima.

Figura 25 - Variação percentual no índice de bem-estar para a política apenas na U.E.

A União Europeia, obviamente, apresenta alguma perda de bem-estar, bem como queda no desempenho do PIB, dada a sua sujeição às restrições de emissão. Apesar disso, essa variação não é tão forte em termos percentuais como no Brasil, afetado indiretamente. A chave dessa diferença de impacto está exatamente na produção de biocombustíveis, conforme explicado acima. Cabe frisar que, para o Brasil, a América Latina e a U.E., apesar de o PIB e o índice de bem-estar continuarem crescendo quando da adoção da política, esse crescimento é desacelerado sob esse cenário de política. De qualquer forma, isso causa um impacto negativo nas taxas de crescimento de longo prazo desses países, enquanto beneficia a potência não-participante, que são os Estados Unidos. Usualmente, as perdas em bem-estar são

praticamente as mesmas que observadas para o componente consumo do PIB. Então, a maior perda em bem-estar para o Brasil e a A.L. indica que a política afeta mais o consumo privado desses do que na U.E. e EUA.

Por sua vez, o comportamento de emissão de gases de efeito estufa em resposta à política europeia é apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Variação (em %) nas emissões de gases estufas para a política apenas na U.E.

Apesar de a maioria das regiões mundiais estudadas responderem à política com leves aumentos percentuais no nível de emissões (da ordem de 1%), como mostra a Tabela C4 dos Apêndices, o Brasil contraria esse comportamento e apresenta alguma redução nas emissões de GEE nos últimos períodos da janela temporal avaliada. Esse resultado deve ser consequência da queda no consumo e na atividade econômica em geral na economia brasileira. Cabe salientar que o maior efeito em reduções de emissões ocorre na região que implementa a política, que chega a diminuir em 56% as emissões esperadas em 2050, enquanto a redução nas emissões brasileiras, como consequência indireta da política, é de apenas 3% do que seria observado no cenário de referência. Ainda assim, observa-se um aumento para a maior parte dos outros países, além dos Estados Unidos (Tabela C4).

4.3 Política para os Estados Unidos

Esta seção fará a comparação do caso em que os Estados Unidos implantariam uma política semelhante à da estudada na seção anterior para a União Europeia, ou seja, uma redução contínua de 14% a cada decênio a partir de 2015. Apesar de a implementação de política apenas nos EUA parecer ser menos provável do que apenas na U.E., essa análise será importante para avaliação da existência de possíveis semelhanças e simetria nos resultados encontrados. Além das informações aqui apresentadas, o Apêndice D as fornece para todas as regiões.

Figura 27 - Variação (em %) no PIB para política apenas nos EUA

Como se observa, o comportamento do PIB é similar ao do cenário anterior. Quando os Estados Unidos aplica a política, ele vê um desempenho pior do PIB com relação ao cenário de referência, enquanto a União Europeia se beneficia suavemente, sendo ambas as trajetórias crescentes em módulo. No caso da aplicação da política de redução na União Europeia, como visto na seção anterior, o efeito é contrário, sendo esta prejudicada em termos de produto, enquanto os Estados Unidos apresentam uma leve melhora com relação à referência. A única diferença no comportamento de cada uma das duas simulações é a sensibilidade maior do produto interno bruto nos Estados Unidos em resposta à adesão a uma política de redução de emissões. É importante ressaltar que o PIB brasileiro tem uma queda mais expressiva com relação ao cenário de referência quando se trata de política climática nos Estados Unidos, de 5,28%, contra cerca de 3,34% para a política implantada na União Europeia. Como mostrará a Seção 4.5, a diferença de impacto é devida ao maior incentivo que

os Estados Unidos dá à produção brasileira de biocombustíveis, demandando um fluxo maior da commodity.

Na análise dos fluxos comerciais (Tabela 13 a seguir e Tabela D2 dos Apêndices), mais uma vez se observa alta sensibilidade do Leste Europeu e da ex-União Soviética, com visíveis diminuições do saldo comercial com relação ao cenário de referência, juntando-se a eles também os países do Oriente Médio. Por outro lado, o Brasil, novamente mostra-se beneficiado em termos do saldo em balança comercial, apesar da piora no PIB, confirmando o comportamento da simulação anterior.

Tabela 13 - Variação no saldo da balança comercial para política nos EUA (Pol.) com relação ao cenário de referência (Ref.)					
		EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	Pol.	3,10	-10,27	0,42	0,90
	Ref.	3,12	-10,28	0,42	0,90
		-0,50%	-0,09%	0,36%	-0,27%
2020	Pol.	3,59	-12,46	0,47	1,04
	Ref.	3,64	-12,48	0,47	1,04
		-1,19%	-0,19%	0,79%	-0,57%
2025	Pol.	4,13	-15,03	0,58	1,20
	Ref.	4,24	-15,08	0,54	1,22
		-2,69%	-0,36%	7,35%	-1,59%
2030	Pol.	4,79	-18,06	0,74	1,38
	Ref.	5,06	-18,18	0,63	1,42
		-5,43%	-0,63%	17,62%	-2,95%
2035	Pol.	5,47	-21,91	0,90	1,61
	Ref.	5,96	-22,12	0,74	1,65
		-8,16%	-0,94%	21,75%	-2,36%
2040	Pol.	6,23	-25,75	1,05	1,91
	Ref.	6,95	-26,08	0,85	1,93
		-10,37%	-1,25%	22,49%	-1,14%
2045	Pol.	7,15	-30,50	1,22	2,26
	Ref.	8,00	-30,91	1,06	2,25
		-10,65%	-1,33%	15,05%	0,64%
2050	Pol.	8,20	-36,21	1,44	2,68
	Ref.	9,18	-36,73	1,26	2,62
		-10,68%	-1,40%	14,22%	2,05%

Os Estados Unidos parecem claramente prejudicados comercialmente com a adoção isolada da política, tendo uma diminuição de cerca de 10% de 2040 em diante. Isso é devido à importação de biocombustível como substituto não-poluente do petróleo para o caso de implementação de restrição às emissões dentro do país. A União Europeia, por sua vez,

apresenta leve alteração no saldo da balança comercial em relação ao cenário de referência, indicando um saldo comercial menos negativo. Esse resultado indica que a não participação da União Europeia na mitigação às emissões faz o resultado da balança comercial menos desfavorável.

A Tabela 14 mostra que as importações líquidas (valores positivos) estão aumentando e as exportações líquidas (valores negativos) diminuindo na maioria dos setores brasileiros. Ela evidencia que o Brasil se especializa na produção e exportação de biocombustíveis em detrimento dos demais setores, que diminuem suas exportações ou aumentam suas importações. Isso indica uma valorização da taxa real de câmbio e perda nos termos de troca, com queda na competitividade dos setores, no consumo agregado e perda de bem-estar. A chave para o impacto da balança comercial sobre o PIB está, mais uma vez, na modelagem do biocombustível como commodity homogênea, em contraposição à natureza Armington dos demais bens que compõem a balança, fazendo com que as maiores exportações não revertam em benefício ao agente representativo em termos de PIB e bem-estar.

Tabela 14. Fluxos brasileiros de importação líquida por setor para política nos Estados Unidos (Pol.) em comparação à referência (Ref.) US\$ 100 milhões.

Ano		Culturas	Pecuária	Silvicultura	Alimentos	Carvão	Petróleo refinado	Gás natural	Elétrico	Energia intensivo	Outras indústrias	Serviços	Transporte	Bio-combustível	Petróleo
2015	Pol.	-76,72	-1,07	-0,37	-165,30	10,18	-7,75	7,56	23,99	-1,09	213,23	-4,97	6,19	-	6,39
	Ref.	-76,04	-1,01	-0,37	-165,06	9,77	-6,89	7,74	24,03	1,66	211,02	-5,55	7,16	-	4,34
		0,89%	5,94%	0,00%	0,15%	4,20%	12,48%	-2,33%	-0,17%		1,05%	-10,45%	-13,55%		
2020	Pol.	-90,96	-1,29	-0,43	-187,95	11,55	-12,48	8,43	25,57	-6,86	264,29	-1,25	4,88	-	7,21
	Ref.	-89,32	-1,14	-0,43	-187,48	10,48	-10,36	8,76	25,64	0,61	258,65	-2,84	7,51	-	2,31
		1,84%	13,16%	0,00%	0,25%	10,21%	20,46%	-3,77%	-0,27%		2,18%	-55,99%	-35,02%		212,12%
2025	Pol.	-74,02	-0,28	-0,27	-181,51	12,39	-15,31	9,18	27,93	20,15	480,72	-15,37	1,27	- 128,68	14,99
	Ref.	-87,31	-0,87	-0,48	-212,66	11,04	-14,96	10,24	27,89	-13,55	351,1	-53,37	0,43	-	2,92
		-15,22%	-67,82%	-43,75%	-14,65%	12,23%	2,34%	-10,35%	0,14%		36,92%	-71,20%	195,35%		413,36%
2030	Pol.	-45,49	1,28	-0,11	-156,44	12,19	-13,95	10,49	30,28	84,91	836,24	-15,53	-0,89	- 343,69	24,43
	Ref.	-83,72	-0,56	-0,54	-243,03	11,22	-20,44	13,75	30	-32,03	465,24	-124,77	-8,59	-	5,53
		-45,66%	-328,57%	-79,63%	-35,63%	8,65%	-31,75%	-23,71%	0,93%		79,74%	-87,55%	-89,64%		341,77%
2035	Pol.	-55,66	1,86	-0,06	-160,26	13,04	-10,79	12,22	31,25	119,94	1177,73	-21,31	-4,16	- 485,4	40,35
	Ref.	-120,34	-0,72	-0,48	-288,53	12,3	-24,63	18,33	31,43	-54,63	603,51	-182,23	-13,24	-	21,82
		-53,75%	-358,33%	-87,50%	-44,46%	6,02%	-56,19%	-33,33%	-0,57%		95,15%	-88,31%	-68,58%		84,92%
2040	Pol.	-80,08	2,16	-0,01	-170,90	13,68	-6,10	11,84	33,24	156,22	1485,55	-30,67	-11,48	- 600,96	61,75
	Ref.	-176,59	-1,07	-0,4	-336,2	13,23	-27,68	21,2	33,94	-65,97	724,65	-231,22	-18,73	-	48,13
		-54,65%	-301,87%	-97,50%	-49,17%	3,40%	-77,96%	-44,15%	-2,06%		105,00%	-86,74%	-38,71%		28,30%
2045	Pol.	-117,91	2,48	0,07	-185,17	14,43	2,83	12,20	35,43	204,52	1856,15	-26,95	-13,76	- 730,99	75,19
	Ref.	-219,79	-0,12	-0,13	-332,88	13,97	-29,13	23,29	37	15,93	1106,33	-188,5	-11,42	- 230,7	81,84
		-46,35%		-153,85%	-44,37%	3,29%		-47,62%	-4,24%	1183,87%	67,78%	-85,70%	20,49%	216,86%	-8,13%
2050	Pol.	-171,92	3,04	0,21	-195,26	15,09	12,72	12,90	37,89	280,67	2326,38	15,78	-9,05	- 901,34	89,12
	Ref.	-304,3	0,13	0,04	-355,56	14,75	-31,67	25,41	39,88	81,45	1471,98	-158,47	-3,88	- 384,3	111,05
		-43,50%	2238,46%	425,00%	-45,08%	2,31%		-49,23%	-4,99%	244,59%	58,04%		133,25%	134,54%	-19,75%

Como se nota pela Tabela 15, os componentes dos gastos nacionais acompanham a variação do produto interno bruto causada pela adoção da política climática. Para o Brasil, o comportamento para a implementação de política climática nos EUA é semelhante ao resultado da política adotada na União Europeia, com ganhos reduzidos em consumo e investimentos nos primeiros períodos e maiores perdas nos finais. A causa dessas perdas podem ser igualmente atribuídas à especialização na produção de biocombustíveis, conforme será discutido na seção 4.5.

Tabela 15 - Variação dos componentes dos gastos agregados para política apenas nos EUA.

% C	EUA	U.E.	BRA	A.L
2015	-0,04%	0,00%	0,00%	-0,04%
2020	-0,16%	0,01%	0,01%	-0,10%
2025	-0,38%	0,03%	0,41%	-0,22%
2030	-0,65%	0,06%	0,25%	-0,44%
2035	-0,92%	0,10%	-1,28%	-0,57%
2040	-1,17%	0,14%	-3,24%	-0,94%
2045	-1,45%	0,15%	-5,64%	-1,55%
2050	-1,76%	0,17%	-6,66%	-2,26%
% I	EUA	U.E.	BRA	A.L
2015	-0,34%	0,00%	0,01%	-0,06%
2020	-0,88%	0,01%	0,02%	-0,13%
2025	-1,42%	0,05%	0,63%	-0,21%
2030	-1,70%	0,13%	1,01%	-0,31%
2035	-1,90%	0,22%	0,23%	-0,39%
2040	-2,06%	0,32%	-1,08%	-0,75%
2045	-2,37%	0,32%	-3,23%	-1,43%
2050	-2,70%	0,34%	-4,19%	-2,10%
% G	EUA	U.E.	BRA	A.L
2015	-0,36%	0,00%	0,01%	-0,01%
2020	-0,86%	0,01%	0,02%	-0,02%
2025	-1,25%	0,04%	-0,04%	-0,02%
2030	-1,30%	0,09%	-0,37%	0,01%
2035	-1,26%	0,15%	-0,91%	0,07%
2040	-1,21%	0,21%	-1,57%	0,12%
2045	-1,28%	0,18%	-2,16%	0,16%
2050	-1,36%	0,18%	-2,39%	0,16%

A Figura 28 complementa essa análise demonstrando a variação no índice de bem-estar para a política nos EUA, que segue o comportamento do consumo agregado.

Figura 28 - Variação (em %) no índice de bem-estar para a política apenas nos EUA.

Com relação ao índice de bem-estar, é possível verificar comportamento semelhante ao do PIB, o que é razoável uma vez que tal medida é dependente do nível de consumo, estreitamente ligado ao produto interno bruto de um país. No Brasil ocorre um pequeno aumento no bem-estar nos períodos iniciais, o que sugere que o Brasil se beneficia pelo aumento de vendas para mercados que os EUA estão perdendo, enquanto o país sofre pronunciadas perdas em bem-estar a partir de 2035. Esse é o resultado esperado como consequência da especialização na produção de biocombustível, conforme discutido para os resultados na balança comercial..

Por fim, como se observa pela Figura 29, a redução dos gases de efeito estufa têm efeitos distintos para o Brasil com relação aos demais países. Enquanto a América Latina e a União Europeia apresentam uma trajetória de incremento inicial, para uma posterior estabilização em novo patamar, o Brasil caminha em sentido diverso, devido à queda na atividade econômica. Após uma aceleração das emissões com relação ao cenário de referência, o país apresenta decréscimos após 2030, chegando a quase 5% de queda no montante de suas emissões para 2050.

Figura 29 - Variação (em %) nas emissões de gases estufas para a política apenas nos EUA

A Tabela D3 dos Apêndices mostra que o país é acompanhado, no que diz respeito a essas grandes reduções, pela Federação Russa, África e Oriente Médio. Enquanto o México, o Leste Europeu e a América Latina têm quedas da ordem de 2% das emissões, a maioria restante dos países acaba apresentando pequenos acréscimos em emissões com relação ao cenário de referência.

4.4 Política para os Estados Unidos e a União Europeia

Nesta Seção serão avaliados os resultados para o caso de aplicação de política de redução das emissões em 14% ao decênio tanto para os Estados Unidos quanto para a União Europeia. Por ser uma combinação dos dois cenários anteriores, os resultados aqui colocados são comparados com aqueles para melhor captar a interação dos dois países participando ativamente da redução às emissões. Resultados auxiliares para todas as regiões modeladas encontram-se no Apêndice D.

Observando-se a Figura 30, é fácil notar que as restrições nos Estados Unidos têm maior impacto sobre o PIB da América Latina e do Brasil do que uma política na União Europeia. Como se observa, a tendência para países terceiros é de uma intensificação dos efeitos sobre o PIB quando os dois *policy makers* estudados participam do processo. A única exceção é para o Brasil, que parece ser mais afetado quando apenas os Estados Unidos participam do que quando a União Europeia também se junta ao esforço de mitigação das emissões. Isso sugere que EUA e U.E. são complementares no comércio com o resto do mundo, com exceção do Brasil. Na verdade, o forte impacto das políticas sobre a produção de

em 2005. Como as emissões no cenário de referência crescem rapidamente nos EUA, mas são praticamente constantes na UE, como mostra a Figura 22 na seção 4.1, os 14% de corte em relação à 2005 implicam em maiores cortes nos EUA do que na UE.

Tabela 16 - Variação percentual na emissão de gases de efeito estufa para a implementação de política de redução de 14% ao decênio simultânea nos EUA e na U.E.

Ano	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2004	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
2005	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
2010	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
2015	-12,029%	-2,112%	0,286%	0,291%
2020	-20,677%	-9,740%	0,796%	0,837%
2025	-28,931%	-16,697%	1,528%	1,508%
2030	-37,279%	-23,823%	1,726%	2,267%
2035	-45,290%	-31,634%	1,146%	3,896%
2040	-52,641%	-39,570%	-0,056%	5,225%
2045	-59,526%	-47,818%	-2,732%	5,748%
2050	-65,913%	-55,899%	-3,534%	6,130%

A comparação desses resultados de emissões com os anteriores pode ser obtida para cada região de interesse na Figura 31 a seguir.

Figura 31 - Resultado da variação percentual nas emissões em cada um dos cenários

Com relação a cada um dos países que implementam políticas, o que se observa é que pouca diferença faz no seu nível de redução das emissões se ele implementa a restrição sozinho ou junto com o demais. Em compensação, se apenas o outro implementa a política de restrição, o resultado é um leve aumento no seu próprio nível de emissões, aproveitando-se da redução externa.

Já para a América Latina, o resultado é invariante: sempre há um acréscimo no nível de emissões com relação ao cenário de referência que vai se acumulando com o passar dos anos. A participação em conjunto dos EUA e da União Europeia nas restrições à emissão gera um maior incremento nas emissões na América Latina, enquanto que as emissões estadunidenses parecem ter maior efeito isoladamente que as das U.E. para esse aumento incremental nas emissões latinas.

O Brasil, por sua vez, tem comportamento diverso. Em primeiro lugar, o incremento em suas emissões nos primeiros anos do período analisado parece ser contrabalançado por posterior decréscimo com relação ao cenário de referência para qualquer política simulada. Em segundo lugar, a resposta do país para o caso da participação dos dois implementadores de política não parece ter consistência com a sua reação a cada política isoladamente. Nos primeiros anos até 2035, a resposta brasileira em emissões tende a ser uma soma das respostas de cada política isolada, com alguma diferença atribuída à interação das duas políticas. Mas, a partir de então, a participação da União Europeia na restrição das emissões parece amenizar o impacto que a política dos Estados Unidos isoladamente teria na redução das emissões

brasileiras. Isso é reflexo dos efeitos das políticas sobre o nível de atividade (PIB) e consumo na economia brasileira. Como a política combinada dos dois países deprime a economia brasileira menos do que quando a política americana é implementada isoladamente, as emissões também sofrem menores quedas. A razão disto é a maior competição entre EUA e U.E. pelas exportações brasileiras de biocombustíveis, o que aumenta o preço do produto exportado pelo Brasil, favorecendo os termos de troca.

É importante entender o que significa um aumento nas emissões de países terceiros não implementando políticas, como é o caso da América Latina em todos os cenários e dos EUA e U.E. quando estes não impõem políticas. Esse aumento em emissões é comumente chamado de “vazamento” de emissões (*leakage*), uma vez que indica que a redução de emissões isolada acaba levando a maiores emissões em países sem controle. No caso do aumento em emissões nos EUA e U.E. quando cada um desses países não impõe política, esse “vazamento” é decorrente do aumento na atividade econômica nos mesmos, que por sua vez decorre da capacidade de substituir no comércio internacional o papel do país ou região impondo restrições. Já no caso da A. L., que sofre queda no PIB, o “vazamento” deve estar relacionado ao maior consumo de combustíveis fósseis, uma vez que os preços desses são negativamente afetados no comércio mundial pela redução na demanda da região impondo políticas climáticas. Com preços menores no mercado mundial, terceiros países acabam por substituir fontes de energia menos poluidoras por aquelas mais emissoras de gases de efeito estufa. A Tabela E4 dos Apêndices mostra que as únicas exceções para esse comportamento são, além do Brasil, o México e o Leste Europeu. A Seção 4.5 mostrará que isso se deve ao incentivo que essas regiões terão à produção de biocombustíveis.

Além dessas avaliações individuais, é de interesse o resultado global dessas políticas em termo de efetividade no controle das emissões. Como se observa pela Figura 32, para o mundo como um todo, a mesma política de redução de 14% é mais efetiva se implementada nos Estados Unidos do que na União Europeia em termos de redução mundial das emissões. Esse resultado é consequência da trajetória mais poluidora dos EUA no cenário de referência. Por outro lado, a tabela no painel (b) da Figura 32 mostra que a redução percentual quando os dois implementam a política é maior do que a soma das contribuições do esforço de cada um individualmente. Ou seja, há uma interação positiva no esforço conjunto de ambos, o que indica uma redução nos “vazamentos”. Esse resultado mostra a importância da implementação ampla e conjunta de políticas climáticas por vários países ao mesmo tempo, uma vez que o esforço por uma ou poucas regiões não seria suficiente para solucionar o problema climático, apesar do exemplo político positivo que isso representa.

Figura 32 - Redução nas emissões mundiais totais em relação ao cenário de referência

Finalmente, verificam-se na Figura 33 as variações no índice de bem-estar que em geral são negativas com a implementação de políticas climáticas. A exceção se dá no caso em que um potencial implementador vê o concorrente comercial se esforçar no controle das emissões enquanto não toma atitude própria para o controle climático.

Figura 33 - Resultado da variação percentual no bem-estar em cada um dos cenários

Para outros países, quanto maior o engajamento internacional no controle de emissões, maior a perda nos níveis de bem-estar com relação ao cenário de referência. O Brasil, em particular, parece ter perdas percentuais bastante elevadas, ultrapassando - 6% no último período para quando houver engajamento estadunidense, o que se deve à peculiaridade de maior competitividade brasileira e especialização na produção de biocombustíveis avançados, como discutido brevemente nos resultados dos cenários anteriores e evidenciado em maiores detalhes a seguir. Alguns países, como mostra a Tabela E3, parecem se favorecer com este cenário, como é o caso da Índia e da Ásia Oriental, mas esse benefício só atinge a ordem do 1% de acréscimo com relação ao cenário de referência no último período da modelagem.

4.5 Comparação dos resultados de produção de biocombustível e petróleo

Uma análise essencial para o Brasil em termos de competitividade energética é a produção de etanol, bem como a de biocombustível de segunda geração, o que pôde ser observado na argumentação sobre os resultados das seções anteriores. Como se observa pela Tabela 17 abaixo, a participação da U.E. no combate às emissões antecipa no tempo a produção de biocombustíveis no Brasil, enquanto que a influência dos EUA ajuda a antecipar um período a mais e incentiva a aumentar a produção. No geral, quanto maior o esforço de combate às emissões no exterior, maior a produção de biocombustível no Brasil.

Tabela 17 - Produção de biocombustível no Brasil em EJ

	Referência	Política na U.E.	Política nos EUA	Política na U.E. e nos EUA
2015	0	0	0	0
2020	0	0	0	0
2025	0	0	1,682	1,742
2030	0	1,717	4,492	4,485
2035	0	4,189	6,344	6,623
2040	0	5,697	7,854	8,448
2045	3,015	7,204	9,553	10,620
2050	5,022	9,187	11,780	13,209

É importante destacar que o biocombustível de segunda geração do modelo EPPA representa uma fonte de energia completamente livre de emissões de CO₂, que é o que se espera dos biocombustíveis produzidos a partir da quebra da celulose e de um etanol de cana-de-açúcar avançado com 100% do aproveitamento do bagaço e de maior produtividade. Essa

fonte livre de emissões seria a única alternativa ao uso de energia fóssil no setor de transporte na presença de uma forte restrição às emissões de gases de efeito estufa, uma vez que carros elétricos ainda não seriam uma opção tecnológica disponível no modelo. Isso significa que, um país impondo políticas climáticas, enfrenta três alternativas: 1) a sua demanda de combustível fóssil para transporte deve reduzir; 2) ele deve fazer um esforço maior de redução de emissões em outros setores para que continue a usar combustível fóssil no setor de transportes, ou 3) pode produzir ou importar o biocombustível. Essa terceira opção parece ser a preferida nos EUA e U.E. quando a política se torna muito restritiva e o preço do bicomcombustível avançado se torna competitivo diante do seu custo mais elevado de produção. Outras pressuposições importantes do modelo EPPA sobre essa fonte de energia são o fato de que ela é uma *commodity* (produto homogêneo) no comércio mundial, tendo, portanto, substituição perfeita no comércio internacional; o fato de que não há barreiras que impeçam essa livre comercialização e, por fim, que se trata de um substituto perfeito para o petróleo refinado. Todas essas hipóteses significam que, uma vez que a sua produção se torne competitiva (a custos menores que o petróleo refinado), o biocombustível se torna preferível e tem sua produção e comércio restringidos apenas por limitações na capacidade produtiva (disponibilidade de recursos) e nos custos de transportes.

Por outro lado, como se observa na Tabela 18, a produção do etanol comum de cana-de-açúcar, que é exclusivamente consumido no Brasil, parece diminuir conforme a política de combate às emissões se torna mais severa. Isso se deve à competição que o etanol sofre pelo uso de fatores, particularmente a terra, diante da forte expansão do bicomcombustível avançado para exportação.

Tabela 18 - Produção de etanol no Brasil em EJ				
	Referência	Política na U.E.	Política nos EUA	Política na U.E. e nos EUA
2004	0,000	0,000	0,000	0,000
2005	0,368	0,368	0,368	0,368
2010	0,523	0,523	0,523	0,523
2015	0,536	0,536	0,536	0,536
2020	0,562	0,562	0,560	0,560
2025	0,622	0,621	0,603	0,602
2030	0,673	0,656	0,612	0,609
2035	0,731	0,678	0,624	0,617
2040	0,778	0,692	0,634	0,620
2045	0,808	0,721	0,659	0,634
2050	0,829	0,744	0,679	0,643

Isso parece indicar que parte dos esforços direcionados ao etanol são realocados para a inserção no contexto mundial da produção de biocombustíveis. A Tabela F dos Apêndices mostra a participação de todos os países e regiões produtores de biocombustível para cada cenário simulado, evidenciando que o Brasil se destaca como produtor.

Como se observa, quanto mais intensivo em combate às emissões for o cenário, maior a participação de novas regiões na produção de biocombustível e maior a produção do mesmo nas regiões já participantes. O Brasil é geralmente o maior produtor, devido à parameterização do modelo EPPA de maiores produtividades e disponibilidade do recurso terra no país, o que significa uma maior vantagem comparativa na produção deste bem.

Como se nota pela Figura 34, a produção de petróleo se reduz, como era de se esperar, quanto mais intensivas as políticas de redução às emissões. Esse comportamento observado em nível mundial também se repete para o Oriente Médio, principal região produtora, conforme a Figura F dos Apêndices.

Figura 34 - Produção de petróleo mundial (em E J) para os diferentes cenários

Essa queda na produção de petróleo é compensada em parte pela oferta de biocombustível de segunda geração, substituto perfeito do combustível fóssil no modelo. No Brasil, apesar de ser em menor grau, a produção de petróleo também é afetada negativamente pelas políticas implementadas, chegando a 15% de queda em 2050 em relação ao cenário de referência para a política U.E./EUA, como mostra a Tabela 19 abaixo.

Tabela 19 - Produção de petróleo no Brasil em EJ

	Referência	Política na U.E.	Política nos EUA	Política na U.E. e nos EUA
2004	3,188	3,188	3,188	3,188
2005	3,260	3,260	3,260	3,260
2010	3,755	3,755	3,755	3,755
2015	4,208	4,209	4,196	4,196
2020	4,436	4,432	4,408	4,402
2025	4,657	4,646	4,445	4,426
2030	4,781	4,623	4,283	4,261
2035	4,754	4,424	4,111	4,037
2040	4,556	4,159	3,857	3,738
2045	4,188	3,926	3,688	3,503
2050	3,893	3,680	3,498	3,285

A Tabela 20 abaixo mostra os valores de redução nos preços mundiais e não há a necessidade de especificação de preço por país já que o petróleo é uma commodity (produto homogêneo) no modelo.

Tabela 20 - Variação nos preços mundiais de petróleo com relação ao cenário de referência.

Ano	Política na U.E.	Política nos EUA	Política na U.E. e nos EUA
2004	0,00%	0,00%	0,00%
2005	0,00%	0,00%	0,00%
2010	0,00%	0,00%	0,00%
2015	0,00%	-0,37%	-0,37%
2020	-0,10%	-0,93%	-1,06%
2025	-0,27%	-2,04%	-2,36%
2030	-0,96%	-4,00%	-4,53%
2035	-1,98%	-5,99%	-7,21%
2040	-3,24%	-7,97%	-9,95%
2045	-3,13%	-7,40%	-10,83%
2050	-3,59%	-7,43%	-11,93%

Observa-se que há uma queda consistente nos preços com relação ao cenário de referência, tanto conforme a política simulada se intensifica, quanto ao longo dos anos do período em análise. Por fim, a Tabela 21 mostra os fluxos de comércio de biocombustíveis em bilhões de dólares de moeda corrente, representando as importações (sinal negativo) e exportações (sinal positivo) por país em cada um dos cenários analisados anteriormente. A mesma tabela estendida para todas as regiões que participam deste fluxo encontra-se no Apêndice F. Basicamente, cada um dos aplicadores de política será o importador de todo o

biocombustível produzido mundialmente, que será repartido se forem dois os implementadores do sistema de créditos de carbono. A ordem crescente da abrangência da política aplicada é seguida pela maior produção do biocombustível. O Brasil é sempre o maior e mais adiantado produtor da commodity, independentemente do cenário estudado. Juntamente a ele, como mostra a Tabela F, o Leste Europeu e os países da África como um todo são os principais exportadores potenciais na possibilidade de produção e comercialização do produto.

Tabela 21 - Síntese dos fluxos comerciais (exportação) do biocombustível em US\$ bilhões

Implementação de política na U.E.				
	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	0	0	0	0
2020	0	0	0	0
2025	0	0	0	0
2030	0	-131,38	131,38	0
2035	0	-355,56	320,49	0
2040	0	-688,09	435,93	0
2045	0	-1080,41	551,22	0
2050	0	-1487,36	702,92	11,54
Implementação de política nos EUA				
	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	0	0	0	0
2020	0	0	0	0
2025	-128,68	0	128,68	0
2030	-579,85	0	343,69	0
2035	-1144,5	0	485,4	85,32
2040	-1770,04	0	600,96	231,04
2045	-2338,74	0	730,99	353,6
2050	-2948,19	0	901,34	486,26
Implementação de política NA U.E. nos EUA				
	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	0	0	0	0
2020	0	0	0	0
2025	-133,31	0	133,31	0
2030	-592,82	0	343,18	0
2035	-1121,6	-188,09	506,76	133,94
2040	-1703,78	-402,98	646,4	321,79
2045	-2248,43	-720,88	812,6	513,01
2050	-2803,85	-1070,07	1010,67	702,72

Em síntese, como se observou pelo desenvolvimento do trabalho realizado até aqui, o grande aumento nas exportações brasileiras de biocombustíveis de segunda geração provoca

uma queda nas exportações e aumento nas importações dos demais produtos no Brasil, o que explica a diminuição no nível de consumo bem como em termos de PIB e de bem-estar. A próxima seção mostrará a importância que tem a hipótese de possibilidade de produção e comercialização internacional dessa commodity nos resultados acima verificados, bem como mostrará a participação do fator terra na geração desses resultados.

4.6 Relaxando as hipóteses dos biocombustíveis de segunda geração

A modelagem feita até então para a avaliação dos resultados acima estava pautada implicitamente nas seguintes hipóteses:

a) O biocombustível de segunda geração é um substituto perfeito para o petróleo refinado, ou seja, não é um bem Armington. Isso significa que, a partir do momento que se torna disponível, ele tende a substituir quase por completo o uso do petróleo refinado.

b) O biocombustível de segunda geração é comercializado livremente, sem barreiras comerciais, como é o caso do petróleo. Em virtude disso e por motivo de sua crescente competitividade, o Brasil passa a exportá-lo.

Entretanto, como os resultados obtidos até aqui se explicam em consequência dessas hipóteses, padrões na versão original do modelo EPPA, o exercício desta seção será a simulação de dois cenários sem o uso delas. Um será o cenário de referência e o outro o de política climática tanto nos EUA quanto na U.E., ambos com a redução de 14% ao decênio. É preciso salientar que esses resultados não são comparáveis diretamente aos anteriores, uma vez que as hipóteses são distintas. Contudo, a simulação cujos resultados são aqui demonstrados pode ser considerada uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos anteriormente.

Os novos cenários, com as hipóteses relaxadas, serão rotulados com subscrito SB (sem biocombustível), em contraste com CB (com biocombustível) dos cenários formulados anteriormente. Para distinguir os dois tipos de cenários, chamaremos cenários do estado da natureza¹⁶ CB, em que as hipóteses (a) e (b) são válidas, e cenários do estado da natureza SB onde elas são relaxadas, ou seja, onde o biocombustível de segunda geração não é uma tecnologia disponível no modelo. Essa hipótese de não-disponibilidade do biocombustível pode ser interpretada de várias formas: 1) que essa tecnologia, para se desenvolver em escala comercial, será muito cara (mais do que o preço do petróleo adicionado do custo com as permissões de emissões) e, portanto, não será uma opção viável; 2) que o biocombustível de

¹⁶ O termo “estado da natureza” refere-se ao conjunto de hipóteses assumido para a simulação dos cenários.

segunda geração não será um substituto perfeito para o petróleo nem reduzirá as emissões consideravelmente, e, portanto, não terá um papel relevante no combate às mudanças climáticas; ou 3) que o livre comércio de biocombustíveis não será permitido (a exemplo do que acontece com o comércio de etanol atualmente), o que impedirá que países com maior vantagem comparativa e condições de produzi-lo a preços competitivos possam vendê-lo para países aplicando políticas climáticas ou com limitações na oferta de petróleo.

Como se percebe pela Tabela 22, os resultados são bastante semelhantes na observação do PIB para o cenário de referência, tanto para o uso das hipóteses feitas para os biocombustíveis, como também sem elas.

Tabela 22 - Variação percentual do PIB dos cenários de referência em termos das hipóteses sobre os biocombustíveis. (CB-SB)

Ano	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2010	0	0	0	0
2015	0	0	0	0
2020	0	0	0	0
2025	0	0	0	0
2030	0	0	0	0
2035	0	0	0	0
2040	0	0	0	0
2045	-0,03%	-0,04%	-0,56%	0,11%
2050	-0,05%	-0,06%	-0,12%	0,19%

O mesmo comportamento se verifica com relação a outras variáveis. Ou seja, no cenário de referência, apenas os últimos dois períodos apresentam pequenas variações quando se relaxam as hipóteses sobre os biocombustíveis. A Tabela 23, portanto, reporta os resultados apenas para esses dois últimos períodos para as variáveis de emissão e demanda por fontes de energia. A mesma Tabela contendo todas as regiões estudadas (Tabela G6) encontra-se no Apêndice G deste trabalho.

Tabela 23 - Diferença percentual nos resultados no cenário de referência (SB-CB)

Região	Emissões		Demanda por fontes energéticas					
	2045	2050	Gás natural		Carvão		Petróleo refinado	
	2045	2050	2045	2050	2045	2050	2045	2050
Estados Unidos	-0,14%	-0,25%	0,16%	0,25%	0,05%	0,07%	-0,51%	-0,89%
União Europeia	-0,23%	-0,40%	-0,06%	-0,09%	-0,02%	-0,01%	-0,47%	-0,82%
Brasil	-1,21%	-0,72%	1,94%	2,94%	2,54%	4,62%	0,91%	2,14%
América Latina	-0,38%	-0,66%	-0,20%	-0,46%	-0,11%	-0,12%	-0,65%	-1,10%

Os principais resultados apontam pequenas variações percentuais, em geral menores que 1% e apenas nos dois últimos períodos, que são 2045 e 2050, inclusive para a demanda por fontes energéticas. O único resultado que destoia disso, como se observa pela Tabela G6, é a região formada pela Federação Russa. A explicação é que o biocombustível produzido pelo Brasil sob as hipóteses anteriores estava sendo consumido principalmente por aquela região. Mas sem essa opção mais limpa, a Federação Russa emite muito mais. Essa região representaria uma grande importadora do biocombustível brasileiro no modelo EPPA, se ele pudesse ser comercializado, porque o custo de produção de petróleo naquela região ficaria mais caro do que a importação do substituto perfeito (biocombustível) produzido no Brasil. Esse encarecimento relativo é consequência do desenvolvimento do modelo ao longo do tempo, incluindo aumento do PIB, do consumo agregado e da demanda de combustível para transporte naquela região e no mundo como um todo, redução das reservas petrolíferas da Federação Russa e do resto do mundo.

As Tabelas H6 e H7 do Apêndice H mostram os resultados da implementação de política simultânea nos Estados Unidos e na União Europeia em comparação ao cenário de referência, nos dois estados da natureza estudados, para PIB e bem-estar, respectivamente. A comparação, mais uma vez não pode ser direta, devido à diferença no conjunto de hipóteses, mas pode trazer conclusões válidas uma vez que ambos os cenários de referência trazem resultados bem parecidos. Um resumo dessas informações para as regiões de interesse está na Tabela 24 abaixo:

Tabela 24 - Variação do bem-estar e do PIB com relação ao cenário de referência para política implementada simultaneamente nos EUA e na U.E., nos dois estados da natureza

Bem-estar								
Sem biocombustíveis					Com biocombustíveis			
Ano	EUA	U.E.	BRA	A.L.	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	-0,04%	0,01%	0,01%	-0,04%	-0,04%	0,01%	0,01%	-0,04%
2020	-0,17%	-0,05%	-0,01%	-0,12%	-0,17%	-0,05%	-0,01%	-0,12%
2025	-0,41%	-0,19%	-0,04%	-0,24%	-0,39%	-0,18%	0,39%	-0,29%
2030	-0,77%	-0,37%	-0,10%	-0,39%	-0,67%	-0,35%	0,16%	-0,55%
2035	-1,27%	-0,67%	-0,17%	-0,56%	-0,96%	-0,51%	-1,27%	-0,67%
2040	-1,89%	-1,08%	-0,16%	-0,73%	-1,24%	-0,72%	-3,20%	-1,24%
2045	-2,54%	-1,73%	-0,14%	-0,94%	-1,56%	-1,05%	-5,60%	-2,15%
2050	-3,33%	-2,55%	-0,10%	-1,11%	-1,91%	-1,36%	-6,72%	-3,27%

Produto Interno Bruto								
Sem biocombustíveis					Com biocombustíveis			
Ano	EUA	U.E.	BRA	A.L.	EUA	U.E.	BRA	A.L.
2015	-0,14%	0,00%	0,01%	-0,04%	-0,14%	0,00%	0,01%	-0,04%
2020	-0,40%	-0,18%	0,01%	-0,12%	-0,40%	-0,18%	0,01%	-0,12%
2025	-0,77%	-0,47%	-0,01%	-0,23%	-0,71%	-0,46%	0,42%	-0,26%
2030	-1,30%	-0,82%	-0,06%	-0,36%	-0,97%	-0,76%	0,35%	-0,47%
2035	-1,92%	-1,27%	-0,17%	-0,51%	-1,22%	-0,90%	-0,70%	-0,56%
2040	-2,66%	-1,88%	-0,09%	-0,66%	-1,46%	-1,10%	-2,25%	-1,04%
2045	-3,33%	-2,72%	-0,06%	-0,84%	-1,76%	-1,35%	-4,30%	-1,87%
2050	-4,23%	-3,74%	-0,02%	-1,00%	-2,09%	-1,58%	-5,25%	-2,85%

É fácil notar que os resultados variam para cada região. Para os Estados Unidos e a União Europeia, a hipótese de produção em larga escala e possibilidade de comercialização de biocombustíveis faz com que a implementação da política climática em seus territórios lhes custe menos. Por outro lado, os potenciais produtores de energia de biocombustível (para o caso de políticas simultâneas nos EUA e na União Europeia) perdem em PIB e bem-estar quando se admitem as hipóteses (a) e (b). São eles: Brasil, México, Leste Europeu, África e América Latina. Isso indica que a produção comercial de biocombustível se coloca como uma armadilha para a economia de um país, desviando os recursos econômicos disponíveis em detrimento do consumo interno, prejudicando também o investimento em outras atividades econômicas. Entretanto, no caso da economia brasileira, para contrabalançar esse efeito negativo, a balança comercial tende a ter um maior superávit comercial no caso de produção de biocombustível para comercialização externa, devido aos elevados volumes comercializados.

Os países prejudicados com o comércio de biocombustível no longo prazo, em termos de produto interno bruto, são justamente os que apontam como potenciais produtores, acrescentando-se a eles a Federação Russa, que deixaria de produzir petróleo para importar biocombustível, e os países do Oriente Médio, vendo diminuir a demanda do produto que movimenta suas economias. Todas as outras regiões estudadas têm benefícios em termos de PIB ou de bem-estar com a possibilidade de comercialização internacional do biocombustível, já que o seu uso permite uma substituição das fontes energéticas que passam a ser oneradas com a instituição de políticas de mitigação às emissões.

Vale notar que os resultados de mudanças em PIB e em bem-estar para o Brasil sob a hipótese SB são de leves perdas, inferiores às observadas para a América Latina. As pequenas perdas econômicas para o Brasil sugerem que este país seria muito pouco afetado pelas políticas climáticas nos EUA e na UE. As perdas estariam relacionadas a um “efeito renda” negativo de queda nas economias americana e europeia afetando o comércio brasileiro com aquelas regiões. Contudo, como as perdas brasileiras são menores que as da América Latina, pode-se inferir que o Brasil se beneficia de um “efeito substituição” positivo maior que daquela região, ou seja, é capaz de substituir em maior grau o papel dos EUA e UE no comércio com outros países e regiões do mundo. Isso se deve a uma pauta de exportação mais diversificada no Brasil do que na região América Latina.

As Tabela 25 e H8 fazem a comparação direta dos saldos da balança comercial entre os cenários de adoção de política climática nos Estados Unidos e na União Europeia para CB e SB. Elas demonstram que o Brasil é o país que tem a mais significativa piora de desempenho em termos de comércio internacional com o passar do tempo quando as hipóteses (a) e (b) são relaxadas. O que esses resultados mostram é que a balança comercial brasileira é mais *superavitária* sob a hipótese de produção do biocombustível de segunda geração, já que se torna grande fornecedor dessa commodity no mundo, mas sem o biocombustível o país continua superavitário, porém, em menor grau e provavelmente com uma balança mais equilibrada, ao invés de especializada em biocombustível. É importante lembrar que foi a possibilidade de exportar o bem homogêneo e barato no estado da natureza CB que afetou negativamente o PIB, pois drenou recursos do resto da economia, o que revela um impacto indireto da balança comercial sobre o crescimento.

Tabela 25 - Resultado da balança comercial (em US\$ 10 bi) para a política climática nos EUA e na U.E. para os anos em que houve alteração entre CB e SB

Região		2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	SB	4,20	4,99	5,86	6,80	7,81	8,94
	CB	4,17	4,86	5,56	6,34	7,25	8,31
	%	0,71%	2,67%	5,35%	7,24%	7,70%	7,57%
União Europeia	SB	-15,12	-18,24	-22,20	-26,18	-31,01	-36,82
	CB	-15,09	-18,17	-22,09	-26,01	-30,84	-36,68
	%	0,16%	0,41%	0,52%	0,65%	0,53%	0,40%
Brasil	SB	0,56	0,65	0,77	0,90	1,06	1,24
	CB	0,59	0,75	0,92	1,09	1,29	1,53
	%	-5,77%	-13,28%	-16,78%	-17,15%	-17,78%	-18,85%
América Latina	SB	1,22	1,42	1,65	1,94	2,29	2,70
	CB	1,21	1,39	1,64	1,95	2,31	2,74
	%	0,72%	1,69%	0,49%	-0,67%	-1,15%	-1,22%

A Figura 35 mostra o uso da terra no Brasil para os diferentes cenários, comparando a política implementada nos Estados Unidos e na União Europeia com a referência para ambos os estados da natureza. O que se observa é que, já no cenário de referência, a opção de comercialização de biocombustível fez com que o uso da terra que antes era direcionada para outras atividades fosse transferida para a produção da commodity. Isso se intensifica ainda mais quando os dois países implementam a política de mitigação da emissão aos GEEs. Na hipótese de não possibilidade de produção de biocombustível, o uso da terra praticamente não se altera no cenário de política em relação ao cenário de referência.

Esse resultado vai de encontro com de Teoria de Hecksher-Ohlin (ou Teoria da Proporção dos Fatores), segundo a qual o comércio internacional de mercadorias representa, indiretamente, uma troca comercial de fatores de produção. Essa teoria explica os mecanismos do comércio internacional, mostrando que um país deve produzir e exportar bens que utilizam mais intensivamente o fator proporcionalmente mais abundante em relação a outros países. Especificamente, o Brasil (e outros potenciais produtores) vende o biocombustível por ser, comparativamente aos países importadores, abundante em terra e condições climáticas favoráveis à agricultura em termos proporcionais aos outros fatores de produção.

A Figura 36 permite observar que, na possibilidade de produção e comercialização internacional do biocombustível, essa fonte alternativa restringe o aumento contínuo no preço

do petróleo. Na impossibilidade do desenvolvimento da indústria de biocombustíveis de segunda geração, o preço do petróleo é maior devido à falta de um substituto para o mesmo.

Figura 36 - Comparação do índice de preço do petróleo

Com relação aos países implementadores da política climática, ambos estão melhores em termos comerciais quando inexiste a possibilidade de comercialização de biocombustíveis. Esse resultado indica claramente que estes países passam a importar o biocombustível se este for disponibilizado no mercado internacional. O fluxo de comércio de biocombustíveis apresentado na Tabela F do Apêndice cessa sob SB, e confirma os resultados acima encontrados. O maior exportador de biocombustíveis é o Brasil, que vende para os Estados Unidos e a União Europeia. Outros produtores como o México, Leste Europeu, África e América Latina participam desse comércio internacional, em menor escala. Apesar de eles não necessariamente terem um resultado maior ou menor em sua balança comercial, todos eles perdem em bem-estar no cenário da política em SB com relação a CB. Concluindo-se dessa maneira a importância das hipóteses de disponibilidade do biocombustível para comércio internacional, resta apenas um questionamento: ela afeta no montante das emissões? Pela Tabela 26 é possível observar que a política SB (sem biocombustível) tem maiores emissões.

Tabela 26 - Volume total mundial de emissões de GEE (em mmt) para a política nos EUA e na U.E.

	GEE_CB	GEE_SB	%
2004	39644	39644	0
2005	40476	40476	0
2010	46301	46301	0
2015	50734	50734	0
2020	55139	55139	0
2025	60089	60090	0,00%
2030	64825	64837	0,02%
2035	70087	70148	0,09%
2040	73776	73930	0,21%
2045	77674	78018	0,44%
2050	81683	82209	0,64%

Isso indica que a possibilidade de usar o biocombustível reduz as emissões mundiais, apesar de a diferença em emissões ser modesta entre CB e SB. É necessário atentar que o papel dos biocombustíveis de segunda geração, embora pareça pouco expressivo com vistas nesse resultado, tem, provavelmente sua potencial contribuição subestimada. Isso se deve ao fato de que as políticas simuladas não têm alcance mundial, ou seja, na medida em que alguns países não precisam limitar suas emissões e o preço do petróleo se torna mais barato na presença dos biocombustíveis, esses países passam a consumir mais petróleo e a emitir mais (ocorrendo *leakage*), contrabalançando o papel dos biocombustíveis. Se todos os países do modelo estivessem sujeitos a políticas de redução de emissões, provavelmente a possibilidade de produzir os biocombustíveis (CB) deveria gerar emissões mundiais consideravelmente menores do que na ausência dessa hipótese (SB). A Tabela H4 do Apêndice, que traz o resultado desagregado das emissões por região para SB, se comparada com a Tabela E4, que tem os mesmos resultados para CB, aponta que a produção ou não de biocombustíveis em escala internacional praticamente apenas redistribui as emissões entre as regiões.

Entretanto, ainda cabe ressaltar a informação que trazem as tabelas acima de que a internacionalização do uso do biocombustível permite uma leve diminuição no nível de emissões para o mundo como um todo. O curioso é que o próprio Brasil, o México e o Leste Europeu, são os que têm maior sensibilidade ao estado da natureza (CB ou SB) na emissão de gases de efeito estufa. Ou seja, os principais produtores potenciais de biocombustível são os que mais diminuem a própria emissão em virtude da sua produção interna com relação ao

cenário sem produção. Isso é consequência, em parte, da queda no nível de atividade desses países quando especializam na produção dos biocombustíveis.

Em conclusão, deve-se destacar um último aspecto da análise a respeito da formulação do modelo EPPA sobre os biocombustíveis de segunda geração. A consideração dessa fonte de energia como um substituto perfeito para o petróleo refinado e de livre comercialização mundial sugeriu, nas análises de resultados das seções anteriores, que a especialização na produção do mesmo reduziria o nível de bem-estar para o país com vantagens comparativas na sua produção. Isso parece ir contra a Teoria de Hecksher-Ohlin, uma vez que ela afirma que haveria o aumento em bem-estar quando da liberalização comercial. Mas os choques simulados no modelo, de política climática em terceiros países, não são de liberalização comercial, nem equivalentes ao mesmo. A crescente especialização brasileira na produção e exportação de biocombustível, tratado como commodity, em decorrência dos choques de políticas climáticas não é compensada pelo fluxo livre de outras mercadorias, modeladas como bens de Armington. Como tal, sofrem de rigidez nas possibilidades de substituição entre diferentes parceiros e entre importados e domésticos e, conseqüentemente, experimentam maiores aumentos em preços do que o biocombustível. Isso se reflete nos resultados do modelo na forma de crescente perda nos termos de troca para os países exportadores de biocombustíveis, com conseqüente queda no bem-estar e no PIB.

CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou os possíveis impactos, sobre a economia brasileira, de políticas de mitigação às emissões factíveis de serem implantadas no cenário internacional. Foram escolhidas para análise de política as economias dos Estados Unidos e da União Europeia, não só por sua relevância em tamanho, mas também pela viabilidade de implantação, já que a primeira encontra-se há anos em discussão e a segunda já está em andamento, com vistas de ser aprofundada.

Para atingir tal objetivo de análise, foram desenvolvidos quatro capítulos. O primeiro capítulo trouxe uma revisão sobre o tema, situando o leitor na discussão recente sobre mudanças climáticas e levantando a literatura nacional e internacional que abordasse temas semelhantes a este trabalho. No segundo capítulo, o modelo EPPA foi explicado a partir dos conceitos básicos de modelagem de equilíbrio geral, chegando-se ao detalhamento necessário para entender a modelagem por trás das análises aqui efetuadas. Já o terceiro capítulo contextualizou as possibilidades futuras para sistemas de crédito de carbono nos Estados Unidos e na União Europeia, a partir dos aspectos de mobilização atual em ambas as regiões, bem como definiu, a partir disso, quais as possibilidades de modelagem para o presente trabalho. O último capítulo descreveu os resultados encontrados a partir do modelo EPPA conforme descrito para os cenários estabelecidos no capítulo anterior, com especial atenção para os países formuladores de política e para o Brasil em comparação ao restante da América Latina, sem, contudo, deixar de abordar o contexto geral dos resultados.

Os resultados apontam que, sob a perspectiva de produção comercial de bicomcombustível, o Brasil se coloca como principal produtor mundial, em detrimento de sua produção de etanol, que é para uso interno, direcionando-se para o comércio internacional do substituto não-poluente do petróleo. Contudo, juntamente com um grande aumento no saldo comercial devido às exportações de biocombustíveis a partir de 2030, foram observados fortes impactos negativos no PIB e no bem-estar do consumidor representativo para os anos finais do modelo. Isso significa que a especialização na produção da commodity energética drena recursos (capital, trabalho e terra) dos demais setores, deprimindo a produção destes e determinando uma dependência de importações dos outros bens, além de provocar uma queda no consumo. Esses resultados negativos se intensificam quanto mais forte a política climática adotada, na seguinte ordem: política apenas na União Europeia; apenas nos Estados Unidos; e em ambos.

O fato de que o biocombustível é *commodity* homogênea no mercado internacional, enquanto os demais bens são considerados como de Armington (substituição imperfeita entre regiões), explica por que uma possível especialização na produção deste bem prejudica o bem-estar do consumidor representativo da economia brasileira. Essa comercialização livre de barreiras do biocombustível, que não se reverte em fluxos livres de outras mercadorias, contribui para a queda nos termos de troca do Brasil, assim como nos outros países exportadores de biocombustíveis. Em virtude disso, futuros estudos devem considerar a possibilidade de substituição imperfeita no comércio mundial de biocombustíveis, bem como a de liberalização parcial de comércio desse bem.

Em síntese, a produção comercial de biocombustível se coloca como uma armadilha ao crescimento econômico, aproveitando-se dos recursos econômicos disponíveis em detrimento do consumo interno e do investimento, deprimindo o nível de atividade de outros setores e prejudicando os termos de troca. O único benefício aparente seria o aumento do saldo em balança comercial, embora a especialização também não seja estrategicamente interessante comercialmente. De fato, a simulação contrafactual dos cenários em que não existiria a comercialização da *commodity* não-poluente dá sustentação a essas conclusões, mostrando que o resultado em termos de PIB, consumo, investimento e bem-estar são melhores se o país (bem como outros possíveis produtores) não se especializar na produção de biocombustível, apesar de isso desfavorecer o saldo na balança comercial brasileira.

Entretanto, para as regiões que não estiverem comprometidas com a produção de biocombustíveis, a possível comercialização do produto é benéfica por desonerar as políticas climáticas, fornecendo uma alternativa barata ao uso do petróleo. É senso comum que a avaliação de perdas e ganhos de bem-estar é complexa e subjetiva, pois se torna impraticável a comparação do bem-estar de uma região do mundo com outra. Mesmo que se leve em conta apenas os valores reais apontados pelo PIB, é difícil decidir quem deve pagar a conta da redução das emissões. Mas, mesmo que países desenvolvidos como os Estados Unidos e a União Europeia deem o exemplo, seguindo em frente com a intenção de mitigar os desdobramentos da intensificação do efeito estufa, há ainda outro lado do prisma a ser avaliado: quem assumirá o papel de produtor de biocombustíveis?

É preciso considerar com cuidado se a especialização brasileira na produção de biocombustível não significará uma perpetuação do padrão de dependência em exportações de produtos de baixo valor agregado e pouco dinâmicos no comércio internacional. Aproveitar as vantagens comparativas naturais não deve significar negligenciar a busca pelo desenvolvimento de vantagens em setores de maior dinamismo nos mercados mundiais. Dessa

forma, será preciso formular políticas públicas setoriais e macroeconômicas que possibilitem o desenvolvimento de longo prazo centrado em diversificação da produção e da pauta de exportações, ao invés da especialização em *commodities* energéticas. Não se trata de descartar o potencial de supridor internacional de biocombustíveis, mas sim, de permitir o desenvolvimento desse potencial sem comprometer o crescimento equilibrado da economia brasileira no longo prazo. Por fim, este trabalho deixa para estudos posteriores sobre o tema as possibilidades de aplicação de políticas comerciais nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, bem como esforços mundiais de mitigação das mudanças climáticas no mundo como um todo.

REFERÊNCIAS

BABIKER, M. J.; ECKAUS, R. S. **Rethinking the Kyoto emissions targets**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 65, Aug. 2000.

_____. Unemployment effects of climate policy. **Environmental Science and Policy**, [Oxford], v. 10 (7-8), p. 600-609, 2007.

BABIKER, M.; GURGEL, A.; PALTSEV, S.; REILLY, J. **A forward looking version of MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 161, May 2008.

BABIKER, M.; JACOBY, H. D. **Developing country effects of Kyoto-type emissions restrictions**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 53, Oct. 1999.

BABIKER, M. H.; METCALF, G. E.; REILLY, J. Tax distortions and global climate policy. **Journal of environmental economics and management**, [Laramie], v.46, p. 269-287, 2003.

BALAZINA, A. Brasil levará para Copenhague meta de redução de emissões de até 38,9%. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 14 nov. 2009. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20091114/not_imp466288,0.php>. Acesso em: 15 nov. 2009.

BAUMERT, K. A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the numbers**. Greenhouse gas data and international climate policy. [Washington, DC]: World Resources Institute, 2005.

BERNSTEIN, P. M.; MONTGOMERY, W. D., RUTHERFORD, T. F. Effects of restriction on international permit trading: the MS-MRT model. **The Energy Journal**, [Cleveland], p. 221-256, 1999. Kyoto special issue.

BOSETTI, V.; CARRARO, C.; GALEOTTI, M.; MASSETTI, E.; TAVONI, M. WITCH: a world induced technical change hybrid model. **The Energy Journal**, [Cleveland], p. 13-37, 2006. Special issue.

BRESSER-PEREIRA, L.C. The Dutch disease and its neutralization: A Ricardian approach. **Brazilian Journal of Political Economy**, [São Paulo], v.28, n.1 (109), pp.47-71, 2008.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **GAMS: a user's guide**. [Washington, DC]: GAMS Development Corporation, 1998. Disponível em: <<http://www.gams.com>>. Acesso em: 8 maio 2009.

BURNIAUX, J-M.; MARTIN, J. P.; MARTINS, J. O. GREEN: a global model for quantifying the cost of policies to curb CO₂ emissions. **OECD Economic Studies**, [Paris], n. 19, p. 93-121, 1992.

CANADA waits for US to move on cap-and-trade plan. *BusinessWeek*, 16 Apr. 2010. Disponível em: <<http://www.businessweek.com/ap/financialnews/D9F456EO0.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

CAO, J.; HO, M. S.; JORGENSEN, D. W. Greenhouse gas mitigation policies in China. An integrated top-down and bottom-up modeling analysis. *Environment for Development Discussion Paper Series*. 2008 Disponível em: <<http://www.rff.org/rff/Documents/EfD-DP-08-10.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2010.

DIAZ, M. D. C.; SCHWARTZMAN, S. Carbon offsets and land use in the Brazilian Amazon. In: MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. (Ed.). **Tropical deforestation and climate change**. [Washington, DC]: Environmental Defense Fund, 2005.

DINIZ, E. M. Crescimento, poluição e o Protocolo de Quioto – Uma Avaliação Do Caso Brasileiro. Relatório de pós-doutorado (University of Oxford, UO, Inglaterra). University of Oxford & St Antony's College Centre for Brazilian Studies, 2000.

_____. Lessons from the Kyoto Protocol. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 27-38, 2007.

EDMONDS, J. A.; REILLY, J.; GARDENER, R.; BRENKERT, A. **Uncertainty in future global energy use and fossil fuel CO₂ emissions 1975 to 2075**. Springfield: National Technical Information Service, 1986.

EUROPEAN UNION COMITEE. **Questions and answers on the revised EU Emissions Trading System**. 2008. Disponível em: <<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/796&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>>. Acesso em: 22 jul. 2010.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; ROCHA, M. T. Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina. **Anais do XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. Londrina, 2007.

FURTADO, C., 1920- **Formação econômica do Brasil**: edição comemorativa: 50 anos / Celso Furtado; organização Rosa Freire d'Aguiar Furtado. São Paulo: Companhia das Letras, 2009. ISBN 9788535915181.

GOULDER, L. H.; SCHNEIDER, S. H. Induced technological change and the attractiveness of CO₂ abatement policies. **Resource and Energy Economics**, [Amsterdã], v. 21, p. 211-253, 1999.

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.; PALTSEV, S.; REILLY, J.; METCALF, G. **U.S. greenhouse gas cap-and-trade proposals**: application of a forward-looking computable general equilibrium model. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 150, 2007. Disponível em: <http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt150.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2010.

HANSEN, J. Can we defuse the global warming time bomb? [Nova Iorque]: NASA Goddard Institute for Space Studies, 2003. Disponível em: <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2003/2003_Hansen.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2010.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LO, K.; LEA, D. W.; ELIZADE, M. M. Global change temperature. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America - PNAS, July 2006.

HASSOL, S. J. **ACIA – Artic Climatic Impact Assessment**. Impacts of a Warming Artic. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. Disponível em: <<http://www.acia.uaf.edu/pages/overview.html>>. Acesso em: 21 set. 2010.

HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 49-99, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512006000100002>. Acesso em: 24 ago. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: the physical science basis**. Summary for policy makers. Geneva: IPCC Secretariat, 2007a. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 23 abr. 2010.

_____. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Summary for policy makers. Geneva: IPCC Secretariat, 2007b. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 23 abr. 2010.

JACOBY, H. D.; BABIKER, M. H.; PALTSEV, S.; REILLY, J. M. **Sharing the burden of GHG reductions**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 167, Nov. 2008.

JACOBY, H. D.; REILLY, J. M.; McFARLAND, J. R.; PALTSEV, S. **Tecnology and technical change in the MIT EPPA Model**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 111, 2004.

JAFFE, A. B.; NEWELL, R. G.; STAVINS, R. N. A tale of two market failures: technology and environmental policy. **Ecological Economics**, Washington DC, v. 54, p. 164-174, 2005. Disponível em: <<http://www.rff.org/documents/RFF-DP-04-38.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2010.

JORGENSEN, D. W.; GOETTLE, R. J.; WILCOXEN, P. J.; SING, H. O. M. **The economic costs of a market-based climate policy**. [Arlington]: The Pew Center on Global Climate Change, White Paper, Apr. 2008.

KASAHARA, S.; PALTSEV, S.; REILLY, J.; JACOBY, H.; ELLERMAN, A. D. Climate change taxes and energy efficiency in Japan. **Environmental and Resource Economics**, [Dordrecht], v. 37, n. 2, p. 377-410, 2007. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/h119602804468662/>> Acesso em: 16 abr. 2010.

LEGGETT, J. A.; LOGAN, J.; MACKEY, A. China's greenhouse gas emissions and mitigation policies. CRS Report for Congress. Congressional Research Service, 2008.

LOFGREN, H.; HARRIS, R. L.; ROBINSON, S. **A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2002. Disponível em: <<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/mc5.pdf>>. Acesso em: 26 out 2009.

LOPES, I. V. (Coord.). **O mecanismo de desenvolvimento limpo**: guia de orientação. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002.

LOPES, R. L. **Efeitos de uma restrição na emissão de CO₂ na economia brasileira**. 2003. 170 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, PIRACICABA, 2003.

MANNE, A.; MENDELSON, R.; RICHEL, R. MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*, [S.l.], v.23 (1), p. 17-34, 1995.

MANNE, A. S.; RICHEL, R. G. The role of non-CO₂ greenhouse gases and carbon sinks in meeting climate objectives. Stanford: Stanford University, 2004. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/MERGE/EMF21.pdf>>. Acesso em: 8 maio 2009.

MATHIESEN, L. Computation of economic equilibrium by a sequence of linear complementarity problems. **Mathematical Programming Study**, [Amsterdã], v. 23, pp. 144-162, 1985.

METCALF, G. E.; PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; HOLAK, J. **Analysis of U.S. greenhouse gas tax proposals**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 160, Apr. 2008.

MINCHETTI, I. M. **Mercado de carbono**: um estudo comparativo entre Brasil, China e Índia. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2009.

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**, Araraquara, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008.

MOUTINHO, P., SCHWARTZMAN, S. **Tropical deforestation and climate change**. Washington, DC: Environmental Defense Fund, 2005.

NARAYANAN, B. G.; WALMSLEY, T. G. **Global trade, assistance, and production: the GTAP 7 data base**. [West Lafayette]: Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2008.

NORDHAUS, W. D. **The DICE Model**: background and structure of a Dynamic Integrated Climate Economy. New Haven, Yale University, 1992. Disponível em: <<http://cowles.econ.yale.edu/P/cd/d10a/d1009.pdf>> Acesso em: 26 out 2009.

NORDHAUS, W. D.; YANG, Z. A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate change strategies. **American Economic Review**, [Pittsburgh], v. 86, n. 4, p. 741-765, 1996.

OLIVIER, J. G. J.; BERDOWSKI, J. J. M. Global emissions sources and sinks. In: BERDOWSKI, J.; GUICHERIT, R.; HEIJ, B. J. (Ed.). **The climate system**. Lisse: Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers, 2001. p. 33-78.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. The Outcomes of Copenhagen – The Negotiations and the Accord. UNDP Environment & Energy Group climate policy series. Feb. 2010.

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. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 125, Aug. 2005.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; GURGEL, A. C.; METCALF, G. E.; SOKOLOV, A. P. et al. Assessment of U.S. GHG cap-and-trade proposals. **Climate Policy**, [S.l.], v. 8, p. 395-420, 2008.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; MORRIS, J. F. **The cost of climate policy in the United States**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, n. 173, Apr. 2009.

PIERMARTINI, R.; TEH, R. **Demystifying modelling methods for trade policy**. WTO Discussion Papers. Discussion Paper n. 10. World Trade Organization, 2005.

POPP, D. ENTICE: endogenous backstop technology in the DICE model of global warming. **Journal of Environmental Economics and Management**, [Laramie], v. 48, n. 1, p. 742-768, 2004.

PORTO JR, S.S.; FEIJÓ, F. F. Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil – uma análise utilizando equilíbrio geral computável. **Análise Econômica**, [Porto Alegre], v. 127, n. 51, p. 127-154, mar. 2009.

REILLY, J.; PALTSEV, S. European greenhouse gas emissions trading: a system in transition. In: MIGUEL, C.; LABANDEIRA, X.; MANZANO, B. (Ed.). **Economic modelling of climate change and energy policies**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2006. p. 45-64.

REINAUD, J. **Industrial competitiveness under the European Union Emissions trading scheme**. International Energy Agency Information Paper, Dec. 2004. Disponível em: <http://194.245.121.74/fileadmin/gruppen/bdz/Themen/Umwelt/IEA-Studie_11-2004.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2009.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 196 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

RUTHERFORD, T.F. **Economic equilibrium modeling with GAMS: an introduction to GAMS/MCP and GAMS/MPSGE**. Washington DC: GAMS Development Corp., 1998.

_____. **The welfare effects of fossil carbon restrictions: results from a recursively dynamic trade model**. OECD Economics Department Working Papers, [Paris], n. 112, 1992.

SCHLAMADINGER, B.; BIRD, N.; JOHNS, T.; BROWN, S.; CANADELL, J.; CICCARESE, L. A synopsis of land use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords. **Environmental Science and Policy**, [Oxford], v. 10, n. 27, p. 1-282, 2007a.

SCHLAMADINGER, B.; JOHNS, T.; CICCARESE, L.; BRAUN, M.; SATO, A.; SENYAZ, A. et al. Options for including land use in a climate agreement post-2012: improving the Kyoto Protocol approach. **Environmental Science and Policy**, [Oxford], v. 10, p. 295-305, 2007b.

SEROA DA MOTTA, R. Os impactos ambientais industriais da Alca no Brasil. **Revista de Economia Aplicada**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 5-23, 2005.

SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. **Applying general equilibrium**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

SMITH, J. B.; SCHNEIDER, S. H.; OPPENHEIMER, M.; YOHE, G. H.; HAREF, W.; MASTRANDRE, M. D. et al. **Assessing dangerous climate change through an update of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) “reasons for concern”**. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America - PNAS, dez. 9, 2008. Disponível em: <www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0812355106>. Acesso em: 30 mar. 2009.

SOBLE, J. Tokyo introduces cap-and-trade scheme. 7 April 2010. Disponível em: <<http://www.ft.com/cms/s/0/0961abe6-41fe-11df-865a-00144feabdc0.html>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

THE PEW CENTER ON GLOBAL CLIMATE CHANGE. **North American Cap-and-Trade Initiatives**, 2008. Disponível em: <http://www.pewclimate.org/what_s_being_done/in_the_states/NA-capandtrade>. Acesso em: 8 dez. 2010.

VIOLA, E. Brazil in the context of global governance politics and climate change, 1989-2003. **Ambiente & Sociedade**. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS), [Campinas], v. 7, n. 1, p. 27-46, 2004.

_____. The international regime on climate change and brasil. **Revista brasileira de ciências sociais**, Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, [São Paulo], v. 17, n. 50, p. 26-46, 2002.

WHALLEY, J.; WIGLE, R. "The international incidence of carbon taxes". In: DORNBUSH, R.; POTERBA, J. M. **Economic policy responses to global warming**. Cambridge: MIT Press, 1991.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. Greenhouse Gas Bulletin, n. 5, Nov. 2009. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/ghg-bulletin2008_en.pdf>. Acesso em: 21 set. 2010.

ANEXO

Países do Anexo B do Protocolo de Quioto

Parte	Limitação de emissões quantificada ou acordo de redução (porcentagem do ano ou período base)
Alemanha	92
Austrália	108
Áustria	92
Bélgica	92
Bulgária	92
Canadá	94
Comunidade Europeia	92
Croácia	95
Dinamarca	92
Eslováquia	92
Eslovênia	92
Espanha	92
Estados Unidos	93
Estônia	92
Federação Russa	100
Finlândia	92
França	92
Grécia	92
Holanda	92
Hungria	94
Irlanda	92
Islândia	110
Itália	92
Japão	94
Latvia	92
Liechtenstein	92
Lituânia	92
Luxemburgo	92
Mônaco	92
Noruega	101
Nova Zelândia	100
Polônia	94
Portugal	92
Reino Unido	92
República Tcheca	92
România	92
Suécia	92
Suíça	92
Ucrânia	100

APÊNDICE A Formulação algébrica do Modelo EPPA

O modelo EPPA foi construído a partir do sub-programa *Mathematical Programming System for General Equilibrium* – MPSGE (Rutherford, 1999), uma linguagem de programação desenvolvida para solucionar modelos econômicos de equilíbrio ao estilo Arrow-Debreu. O MPSGE cria automaticamente a formulação matemática de um modelo na forma de um problema de complementariedade mista, dadas 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. Isso garante menores chances de erro de programação, uma vez que o MPSGE utiliza essas informações para construir algebricamente as funções de custo e demanda relacionadas e checa automaticamente todas as condições de equilíbrio dos mercados e de lucro zero.

Como descrito na Seção 2.4, a formulação do problema de complementariedade mista pelo MPSGE deve considerar três desigualdades a serem satisfeitas: condição de lucro zero, condição de equilíbrio nos mercados e condição de balanço da renda. (Portanto, 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 ilustrar como são construídas as equações pelo MPSGE para o modelo EPPA, abstendo-se de apresentar todas pelos seguintes motivos: a) a representação das árvores tecnológicas da Seção 2.5 não requer exemplificação exaustiva das inúmeras formas funcionais distintas e bastante ramificadas do modelo EPPA; b) 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.¹⁷

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

¹⁷ 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/>

Conjuntos:

k, i, j	Setores e bens
r, s	Regiões
ELE	Setor 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	Coeficiente de emissões de carbono pelo combustível fóssil $j \in ENOE$ no setor k na região r
μ_{rsk}	Coeficiente 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 . Dessa forma, a condição de lucro zero na produção dos setores de serviços, transportes, bens intensivos em energia e outras indústrias, apresentados na Figura 6, pode ser representada por:

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

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 6) pode ser representada por:

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

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

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

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

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

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). 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 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.

$$\begin{aligned}\omega_r^L &= \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial w_r} \\ \omega_r^K &= \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial r_r} \\ Y_{rk} &= A_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^A}{\partial \pi_{rk}^Y} + \sum_{s \neq r} M_{sk} \frac{\partial \Pi_{sk}^M}{\partial \pi_{rk}^Y} \\ N_{rk} &= Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial \pi_{rk}^N} \\ M_{rk} &= A_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^A}{\partial \pi_{rk}^M}\end{aligned}$$

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:XDP0(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 uma 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 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 ($XDP0$), 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 Cenário de referência(CB)

Resultados para o cenário de referência sob as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis (CB).

Tabela B1 - Resultado do PIB em US\$ 10 bilhões para o cenário de referência CB.											
Região	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	1.166,89	1.202,27	1.258,50	1.459,80	1.647,17	1.855,70	2.115,72	2.415,68	2.745,19	3.117,24	3.540,90
Canadá	97,11	100,06	105,91	120,31	135,96	154,28	177,10	201,90	231,78	266,56	305,69
México	68,62	70,37	75,40	82,80	90,69	100,08	113,66	131,17	152,40	177,97	208,59
Japão	462,47	471,56	487,82	532,31	576,47	622,61	674,27	734,59	801,51	876,03	954,80
Austrália e N. Zelândia	75,54	77,65	83,97	96,79	111,42	129,50	149,67	173,32	199,97	231,25	266,12
União Europeia	1.279,49	1.304,30	1.343,00	1.475,67	1.621,54	1.772,22	1.935,79	2.127,02	2.341,74	2.590,94	2.879,22
Leste Europeu	54,03	57,21	67,39	77,28	87,64	100,68	116,78	136,55	157,97	180,97	207,24
Federação Russa	56,67	59,43	69,32	79,96	91,10	103,02	115,11	126,45	138,59	153,54	170,41
Ásia Oriental	166,90	177,23	196,85	230,52	260,43	295,87	339,41	390,39	448,82	515,61	597,23
China	183,27	190,70	295,58	429,13	609,37	858,42	1.193,30	1.505,96	1.820,56	2.176,30	2.574,11
Índia	64,10	68,21	97,64	137,28	187,58	258,21	332,42	416,51	500,74	606,89	762,04
Brasil	61,13	69,23	83,05	100,33	115,18	133,33	154,07	178,40	205,33	238,35	273,87
África	79,42	83,51	106,76	122,92	140,34	165,33	196,05	236,00	272,09	313,65	362,84
Oriente Médio	84,99	90,44	116,49	136,21	156,85	181,73	210,99	247,32	274,93	307,93	345,24
América Latina	85,67	90,36	108,21	122,83	141,90	164,60	190,02	219,60	254,97	297,01	346,00
Restante da Ásia	27,58	30,96	42,41	50,45	59,98	73,09	90,01	109,35	126,67	148,43	173,98

Tabela B2 - Resultado da balança comercial em US\$ 10 bilhões para o cenário de referência CB.

Região	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-53,61	-47,96	2,49	3,12	3,64	4,24	5,06	5,96	6,95	8,00	9,18
Canadá	1,68	1,52	0,16	0,17	0,18	0,20	0,23	0,24	0,28	0,31	0,35
México	0,71	0,69	0,46	0,51	0,57	0,64	0,74	0,87	1,01	1,18	1,38
Japão	10,41	9,02	-1,43	-1,86	-2,38	-3,00	-3,74	-4,73	-5,70	-6,90	-8,37
Austrália e N.Z.	-1,18	-0,99	0,52	0,64	0,77	0,94	1,13	1,37	1,62	1,92	2,26
União Europeia	-5,98	-6,38	-8,36	-10,28	-12,48	-15,08	-18,18	-22,12	-26,08	-30,91	-36,73
Leste Europeu	-3,91	-3,51	0,19	0,15	0,09	0,05	0,00	-0,08	-0,15	-0,27	-0,42
Fed. Russa	7,79	6,99	0,37	0,41	0,45	0,50	0,54	0,56	0,57	0,62	0,66
Ásia Oriental	17,18	15,23	-1,13	-1,35	-1,69	-2,06	-2,49	-3,10	-3,65	-4,35	-5,16
China	12,68	10,90	2,15	3,43	5,23	7,46	10,37	13,94	17,73	22,39	28,24
Índia	-2,09	-1,76	0,44	0,68	1,05	1,63	2,30	3,03	3,60	4,41	5,53
Brasil	3,59	3,36	0,34	0,42	0,47	0,54	0,63	0,74	0,85	1,06	1,26
África	2,89	2,74	1,41	1,61	1,84	2,19	2,62	3,20	3,68	4,24	4,92
Oriente Médio	8,21	7,60	1,40	1,62	1,86	2,18	2,55	3,01	3,29	3,63	4,02
América Latina	2,54	2,38	0,80	0,90	1,04	1,22	1,42	1,65	1,93	2,25	2,62
Restante da Ásia	-0,89	-0,76	0,77	0,93	1,13	1,42	1,81	2,27	2,65	3,16	3,78

Tabela B3 - Emissão de gases estufa em milhões de toneladas métricas de CO₂-e para o cenário de referência CB.

Região	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	7.477,1	7.470,5	7.305,9	7.954,9	8.199,2	8.458,6	8.810,9	9.216,6	9.624,5	10.066,8	10.540,7
Canadá	762,4	759,2	739,9	790,0	820,5	849,7	886,5	916,7	960,9	1.008,3	1.050,9
México	647,8	650,6	664,5	694,3	718,9	751,4	805,1	872,5	952,2	1.047,4	1.155,5
Japão	1.560,1	1.542,1	1.499,4	1.518,0	1.509,5	1.487,4	1.470,4	1.464,5	1.464,8	1.472,7	1.474,6
Austrália e N. Zelândia	649,7	653,6	652,4	684,6	711,4	740,5	765,6	809,9	854,5	907,0	960,2
União Europeia	5.727,4	5.632,3	5.402,1	5.358,8	5.386,8	5.375,5	5.373,7	5.426,9	5.505,0	5.641,8	5.810,0
Leste Europeu	1.737,9	1.781,4	1.772,9	1.881,1	1.978,0	2.114,8	2.279,1	2.475,3	2.641,7	2.798,8	2.964,2
Federação Russa	2.097,6	2.159,8	2.123,5	2.174,9	2.249,2	2.296,6	2.314,6	2.294,6	2.313,0	2.046,3	1.892,4
Ásia Oriental	2.322,8	2.404,0	2.504,1	2.673,1	2.755,5	2.851,0	2.951,5	3.079,5	3.225,6	3.385,1	3.581,6
China	6.982,5	7.148,7	11.036,1	14.302,3	17.635,6	20.886,1	24.087,3	27.394,8	29.954,3	32.354,6	34.627,9
Índia	1.902,3	2.097,4	2.806,9	3.489,8	4.308,1	5.347,7	6.111,9	6.884,7	7.353,0	7.924,8	8.623,8
Brasil	1.073,2	1.079,6	1.088,7	1.130,0	1.146,4	1.167,2	1.180,1	1.236,2	1.312,8	1.439,8	1.545,9
África	2.421,8	2.618,3	3.240,2	3.336,4	3.517,6	3.925,0	4.378,9	5.057,3	5.404,3	5.866,5	6.369,3
Oriente Médio	1.726,5	1.820,9	2.305,4	2.409,3	2.602,6	2.831,7	3.067,7	3.334,4	3.423,3	3.633,2	3.828,3
América Latina	1.426,4	1.476,4	1.635,1	1.691,5	1.789,2	1.872,9	1.929,4	2.012,4	2.128,2	2.273,8	2.434,6
Restante da Ásia	1.128,3	1.180,8	1.523,8	1.654,0	1.818,4	2.055,9	2.305,7	2.567,9	2.720,1	2.924,5	3.134,4

Tabela B4 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2010 no cenário de referência CB.*

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Etanol
		33,12%	36,69%	24,73%	2,85%	2,35%	0,14%	0,12%
Estados Unidos	14,87%	40,30%	21,98%	31,11%	4,57%	1,57%	0,48%	0,00%
Canadá	3,30%	9,65%	38,40%	42,46%	2,38%	7,12%	0,00%	0,00%
México	2,86%	1,74%	84,72%	12,88%	0,01%	0,64%	0,02%	0,00%
Japão	0,30%	1,33%	0,00%	0,00%	74,96%	19,39%	4,32%	0,00%
Austrália/ N. Zelândia	2,84%	73,21%	12,78%	12,74%	0,00%	1,27%	0,00%	0,00%
União Europeia	8,87%	21,34%	32,86%	29,79%	11,77%	3,66%	0,58%	0,00%
Leste Europeu	3,82%	26,76%	27,19%	39,29%	3,01%	3,75%	0,00%	0,00%
Ex-URSS	10,21%	12,16%	38,07%	44,23%	3,08%	2,45%	0,01%	0,00%
Ásia Oriental	3,02%	22,03%	28,82%	42,39%	5,67%	0,98%	0,10%	0,00%
China	17,48%	85,39%	8,94%	3,03%	0,93%	1,72%	0,00%	0,00%
Índia	3,25%	75,20%	12,66%	10,02%	0,61%	1,50%	0,00%	0,00%
Brasil	1,39%	1,58%	62,18%	5,05%	0,75%	21,80%	0,00%	8,66%
África	6,94%	21,65%	56,11%	21,17%	0,15%	0,93%	0,00%	0,00%
Oriente Médio	14,15%	0,09%	74,14%	25,68%	0,00%	0,09%	0,00%	0,00%
América Latina	4,79%	9,34%	62,04%	23,40%	0,21%	5,00%	0,00%	0,00%
Restante da Ásia	1,92%	26,11%	24,32%	46,51%	0,54%	2,53%	0,00%	0,00%

*Esta distribuição permanece a mesma para 2010 em todos os cenários de política CB.

Tabela B5 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2050 no cenário de referência CB.

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Biocombustível	Etanol
		42,77%	32,34%	22,53%	0,80%	0,55%	0,19%	0,69%	0,11%
Estados Unidos	0,00%	49,01%	15,10%	34,12%	0,98%	0,26%	0,53%	0,00%	0,00%
Canadá	0,00%	19,58%	56,52%	20,99%	0,73%	2,12%	0,06%	0,00%	0,00%
México	0,00%	3,19%	75,63%	20,95%	0,00%	0,16%	0,07%	0,00%	0,00%
Japão	0,00%	5,74%	0,00%	0,00%	65,57%	14,79%	13,90%	0,00%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	0,00%	80,98%	7,67%	11,10%	0,00%	0,23%	0,01%	0,00%	0,00%
União Europeia	0,00%	31,23%	29,30%	31,87%	5,00%	1,22%	1,39%	0,00%	0,00%
Leste Europeu	0,00%	33,46%	25,30%	39,62%	0,67%	0,64%	0,30%	0,00%	0,00%
Federação Russa	0,00%	14,67%	42,42%	41,36%	1,06%	0,48%	0,01%	0,00%	0,00%
Ásia Oriental	0,00%	1,65%	21,10%	69,93%	5,87%	0,55%	0,89%	0,00%	0,00%
China	0,00%	90,63%	5,88%	2,39%	0,55%	0,52%	0,04%	0,00%	0,00%
Índia	0,00%	84,84%	8,19%	6,10%	0,50%	0,31%	0,06%	0,00%	0,00%
Brasil	0,11%	1,57%	33,93%	7,91%	0,15%	5,26%	0,18%	43,77%	7,23%
África	0,00%	26,79%	54,61%	18,33%	0,04%	0,22%	0,02%	0,00%	0,00%
Oriente Médio	0,00%	0,08%	71,90%	28,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
América Latina	0,00%	8,25%	63,44%	27,12%	0,04%	1,15%	0,00%	0,00%	0,00%
Restante da Ásia	0,00%	36,71%	21,15%	41,52%	0,02%	0,53%	0,06%	0,00%	0,00%

APÊNDICE C Cenário de Política na União Europeia (CB)

Resultados para a simulação de política na União Europeia que reduza as emissões em 14% ao decênio com relação ao cenário de referência, sob as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis (CB).

Tabela C1 - Variação percentual do PIB para a política na União Europeia com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	13,79%	0,00%	-0,01%	0,00%	0,02%	0,05%	0,06%	0,07%
Canadá	2,21%	-0,01%	-0,02%	-0,04%	-0,08%	-0,13%	-0,13%	-0,15%
México	2,19%	-0,02%	-0,05%	-0,18%	-0,36%	-0,54%	-0,51%	-0,52%
Japão	0,07%	0,00%	0,00%	0,02%	0,05%	0,09%	0,10%	0,12%
Austrália e N. Zelândia	2,82%	-0,01%	-0,02%	-0,02%	-0,01%	0,02%	0,04%	0,07%
União Europeia	4,90%	-0,18%	-0,46%	-0,63%	-0,75%	-0,81%	-0,95%	-1,09%
Leste Europeu	3,68%	-0,02%	-0,07%	-0,11%	-0,07%	-0,08%	-0,42%	-1,07%
Federação Russa	9,66%	-0,13%	-0,35%	-0,69%	-1,17%	-1,79%	-2,91%	-4,09%
Ásia Oriental	1,15%	-0,01%	-0,02%	0,03%	0,11%	0,22%	0,24%	0,29%
China	24,70%	-0,01%	-0,02%	0,00%	0,04%	0,09%	0,09%	0,09%
Índia	4,20%	0,01%	0,01%	0,05%	0,13%	0,19%	0,15%	0,17%
Brasil	1,58%	-0,01%	-0,03%	0,29%	0,21%	-0,83%	-2,61%	-3,34%
África	6,34%	-0,06%	-0,15%	-0,28%	-0,44%	-0,45%	-0,57%	-1,11%
Oriente Médio	14,99%	-0,04%	-0,12%	-0,36%	-0,76%	-1,33%	-1,56%	-1,92%
América Latina	5,26%	-0,02%	-0,05%	-0,12%	-0,23%	-0,34%	-0,35%	-0,37%
Restante da Ásia	2,43%	-0,01%	-0,03%	-0,03%	-0,03%	-0,02%	-0,02%	-0,02%

Tabela C2 - Saldo da balança comercial em U\$10 bilhões para a política na U.E. e variação percentual com relação ao cenário de referência (CB).								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	3,12 (0,01%)	3,65 (0,43%)	4,29 (1,03%)	5,13 (1,23%)	6,04 (1,35%)	7,04 (1,40%)	8,13 (1,68%)	9,35 (1,83%)
Canadá	0,17 (0,00%)	0,18 (0,60%)	0,20 (1,57%)	0,23 (1,90%)	0,24 (2,20%)	0,28 (2,06%)	0,32 (3,48%)	0,36 (4,49%)
México	0,51 (0,02%)	0,57 (0,30%)	0,65 (0,69%)	0,75 (0,44%)	0,87 (-0,03%)	1,01 (-0,46%)	1,18 (-0,21%)	1,38 (-0,19%)
Japão	-1,86 (0,00%)	-2,39 (0,05%)	-3,01 (0,23%)	-3,74 (0,06%)	-4,72 (-0,25%)	-5,66 (-0,72%)	-6,82 (-1,09%)	-8,26 (-1,42%)
Austrália e N. Zelândia	0,64 0,00%)	0,77 0,35%)	0,95 0,85%)	1,15 1,02%)	1,38 1,07%)	1,64 1,03%)	1,94 1,02%)	2,29 1,01%)
União Europeia	-10,28 (0,00%)	-12,51 (0,20%)	-15,14 (0,41%)	-18,27 (0,53%)	-22,25 (0,62%)	-26,27 (0,73%)	-31,19 (0,89%)	-37,04 (0,85%)
Leste Europeu	0,15 (-0,07%)	0,09 (1,18%)	0,05 (3,61%)	0,00 (-48,65%)	-0,06 (-17,44%)	-0,10 (-30,00%)	-0,19 (-28,68%)	-0,33 (-22,75%)
Federação Russa	0,41 (0,00%)	0,45 (-0,40%)	0,50 (-1,18%)	0,53 (-2,74%)	0,53 (-6,32%)	0,50 (-12,43%)	0,47 (-24,86%)	0,42 (-36,10%)
Ásia Oriental	-1,35 (0,01%)	-1,68 (-0,12%)	-2,06 (-0,17%)	-2,47 (-0,65%)	-3,06 (-1,31%)	-3,56 (-2,28%)	-4,21 (-3,04%)	-4,96 (-3,77%)
China	3,43 (0,00%)	5,25 (0,34%)	7,52 (0,79%)	10,45 (0,79%)	14,02 (0,59%)	17,81 (0,40%)	22,50 (0,47%)	28,35 (0,36%)
Índia	0,68 (0,00%)	1,05 (0,46%)	1,65 (1,06%)	2,33 (1,43%)	3,08 (1,78%)	3,66 (1,64%)	4,46 (1,12%)	5,58 (0,88%)
Brasil	0,42 (0,12%)	0,47 (0,64%)	0,55 (1,44%)	0,68 (7,69%)	0,85 (15,19%)	1,00 (17,48%)	1,18 (10,59%)	1,38 (9,16%)
África	1,61 (0,00%)	1,84 (0,13%)	2,20 (0,33%)	2,63 (0,11%)	3,19 -(0,27%)	3,68 (0,14%)	4,28 (0,94%)	4,96 (0,88%)
Oriente Médio	1,62 (0,01%)	1,86 (0,26%)	2,19 (0,60%)	2,55 (0,12%)	2,98 (-0,94%)	3,19 (-2,76%)	3,51 (-3,33%)	3,84 (-4,34%)
América Latina	0,90 -(0,01%)	1,05 (0,28%)	1,23 (0,71%)	1,42 (0,11%)	1,64 (-0,76%)	1,90 (-1,45%)	2,22 (-1,00%)	2,60 (-0,87%)
Restante da Ásia	0,93 (0,00%)	1,13 (0,31%)	1,43 (0,76%)	1,83 (0,88%)	2,29 (0,83%)	2,66 (0,55%)	3,17 (0,35%)	3,79 (0,15%)

Tabela C3 - Variação percentual no índice de bem-estar para a política na União Europeia com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	0,00%	0,00%	-0,01%	-0,01%	0,02%	0,04%	0,05%	0,06%
Canadá	0,00%	-0,01%	-0,02%	-0,06%	-0,13%	-0,20%	-0,20%	-0,23%
México	0,00%	-0,02%	-0,06%	-0,20%	-0,40%	-0,60%	-0,57%	-0,59%
Japão	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,04%	0,08%	0,09%	0,10%
Austrália e N. Zelândia	0,00%	-0,01%	-0,04%	-0,04%	-0,04%	-0,01%	0,01%	0,04%
União Europeia	0,00%	-0,06%	-0,20%	-0,32%	-0,46%	-0,59%	-0,81%	-1,01%
Leste Europeu	0,00%	-0,02%	-0,07%	-0,13%	-0,07%	-0,02%	-0,34%	-1,06%
Federação Russa	0,01%	-0,16%	-0,43%	-0,83%	-1,42%	-2,16%	-3,48%	-4,83%
Ásia Oriental	0,00%	-0,01%	-0,02%	0,01%	0,08%	0,18%	0,20%	0,25%
China	0,00%	-0,01%	-0,02%	-0,01%	0,04%	0,10%	0,11%	0,13%
Índia	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,13%	0,22%	0,22%	0,25%
Brasil	0,00%	-0,01%	-0,05%	0,29%	0,04%	-1,29%	-3,35%	-4,19%
África	0,00%	-0,06%	-0,18%	-0,34%	-0,52%	-0,49%	-0,58%	-1,18%
Oriente Médio	0,00%	-0,05%	-0,16%	-0,46%	-0,95%	-1,68%	-1,94%	-2,39%
América Latina	-0,01%	-0,02%	-0,06%	-0,15%	-0,28%	-0,42%	-0,43%	-0,45%
Restante da Ásia	0,00%	-0,02%	-0,05%	-0,06%	-0,07%	-0,05%	-0,03%	-0,02%

Tabela C4 - Variação percentual nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a política na União Europeia com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	0,00%	0,11%	0,27%	0,39%	0,52%	0,66%	0,67%	0,74%
Canadá	0,00%	0,19%	0,45%	0,67%	0,93%	1,23%	1,23%	1,38%
México	0,00%	0,06%	0,13%	0,10%	0,05%	-0,02%	0,00%	0,00%
Japão	0,00%	0,09%	0,22%	0,35%	0,52%	0,73%	0,80%	0,94%
Austrália e N. Zelândia	0,00%	0,08%	0,19%	0,31%	0,48%	0,71%	0,79%	0,92%
União Europeia	-2,11%	-9,74%	-16,70%	-23,82%	-31,63%	-39,54%	-47,80%	-55,87%
Leste Europeu	0,00%	0,20%	0,50%	0,63%	0,56%	0,17%	-0,64%	-1,49%
Federação Russa	0,00%	0,27%	0,62%	0,74%	0,67%	0,40%	14,64%	25,35%
Ásia Oriental	0,00%	0,11%	0,27%	0,44%	0,67%	0,96%	1,02%	1,19%
China	0,00%	0,04%	0,08%	0,11%	0,16%	0,24%	0,30%	0,38%
Índia	0,00%	0,05%	0,13%	0,22%	0,34%	0,48%	0,51%	0,60%
Brasil	0,02%	0,13%	0,29%	0,66%	0,89%	-0,05%	-2,49%	-3,07%
África	0,00%	0,24%	0,56%	0,78%	0,98%	1,36%	1,23%	0,85%
Oriente Médio	0,00%	0,14%	0,34%	0,51%	0,66%	0,76%	0,46%	0,29%
América Latina	0,01%	0,14%	0,32%	0,61%	0,88%	1,25%	1,24%	1,61%
Restante da Ásia	0,00%	0,03%	0,07%	0,14%	0,23%	0,39%	0,46%	0,55%

Tabela C5 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2050 para a política na União Europeia.

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Biocombustível	Etanol
		42,11%	31,34%	22,17%	0,82%	0,56%	0,20%	2,70%	0,10%
Estados Unidos	13,70%	48,85%	14,93%	34,42%	1,00%	0,27%	0,54%	0,00%	0,00%
Canadá	2,18%	19,89%	55,64%	21,50%	0,74%	2,17%	0,06%	0,00%	0,00%
México	2,17%	3,24%	75,45%	21,08%	0,00%	0,16%	0,07%	0,00%	0,00%
Japão	0,07%	5,69%	0,00%	0,00%	65,56%	14,81%	13,94%	0,00%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	2,80%	80,98%	7,59%	11,19%	0,00%	0,23%	0,01%	0,00%	0,00%
União Europeia	4,26%	25,19%	32,68%	32,95%	6,01%	1,52%	1,65%	0,00%	0,00%
Leste Europeu	4,10%	28,88%	21,02%	34,54%	0,60%	0,50%	0,25%	14,21%	0,00%
Federação Russa	9,53%	14,80%	42,03%	41,58%	1,09%	0,49%	0,01%	0,00%	0,00%
Ásia Oriental	1,15%	1,66%	20,87%	70,12%	5,91%	0,55%	0,90%	0,00%	0,00%
China	24,83%	90,71%	5,80%	2,38%	0,55%	0,52%	0,04%	0,00%	0,00%
Índia	4,22%	84,89%	8,11%	6,12%	0,50%	0,31%	0,06%	0,00%	0,00%
Brasil	2,11%	1,07%	24,26%	4,95%	0,11%	3,99%	0,13%	60,58%	4,91%
África	6,59%	23,12%	47,93%	16,23%	0,04%	0,20%	0,02%	12,46%	0,00%
Oriente Médio	14,75%	0,08%	71,45%	28,45%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
América Latina	5,12%	7,92%	63,25%	27,21%	0,04%	1,18%	0,00%	0,41%	0,00%
Restante da Ásia	2,43%	36,75%	20,85%	41,79%	0,02%	0,53%	0,06%	0,00%	0,00%

APÊNDICE D Cenário de Política nos Estados Unidos (CB)

Resultados para a simulação de política nos Estados Unidos que reduza as emissões em 14% ao decênio com relação ao cenário de referência, sob as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis (CB).

Tabela D1 - Variação percentual do PIB para a política nos Estados Unidos com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,36%	-0,86%	-1,25%	-1,30%	-1,26%	-1,21%	-1,28%	-1,36%
Canadá	-0,01%	-0,02%	0,00%	0,06%	0,12%	0,18%	0,21%	0,26%
México	-0,01%	-0,03%	-0,06%	-0,07%	-0,07%	-0,05%	-0,07%	-0,16%
Japão	0,00%	0,00%	0,02%	0,07%	0,12%	0,17%	0,16%	0,16%
Austrália e N. Zelândia	0,00%	0,01%	0,03%	0,07%	0,11%	0,15%	0,15%	0,17%
União Europeia	0,00%	0,01%	0,04%	0,09%	0,15%	0,21%	0,18%	0,18%
Leste Europeu	0,00%	-0,01%	0,01%	-0,07%	-0,09%	-0,09%	-0,21%	-0,26%
Federação Russa	-0,01%	-0,03%	-0,08%	-0,23%	-0,35%	-0,42%	-0,41%	-0,50%
Ásia Oriental	-0,01%	-0,03%	0,00%	0,12%	0,24%	0,34%	0,30%	0,29%
China	-0,02%	-0,01%	-0,04%	0,00%	0,00%	-0,01%	-0,07%	-0,14%
Índia	0,01%	0,03%	0,02%	0,01%	-0,06%	-0,16%	-0,28%	-0,32%
Brasil	0,01%	0,02%	-0,04%	-0,37%	-0,91%	-1,57%	-2,16%	-2,39%
África	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	-0,01%	-0,03%	0,02%	0,06%
Oriente Médio	-0,02%	-0,06%	-0,13%	-0,25%	-0,36%	-0,46%	-0,43%	-0,38%
América Latina	-0,01%	-0,02%	-0,02%	0,01%	0,07%	0,12%	0,16%	0,16%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,01%	0,01%	0,04%	0,02%	0,05%	-0,02%	-0,09%

Tabela D2 - Saldo da balança comercial em US\$10 bilhões para a política nos EUA e variação percentual com relação ao cenário de referência (CB).								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	3,10	3,59	4,13	4,79	5,47	6,23	7,15	8,20
	(-0,50%)	(-1,19%)	(-2,69%)	(-5,43%)	(-8,16%)	(-10,37%)	(-10,65%)	(-10,68%)
Canadá	0,17	0,18	0,20	0,23	0,23	0,27	0,31	0,34
	(0,52%)	(1,54%)	(1,88%)	(0,35%)	(-1,77%)	(-3,18%)	(-1,88%)	(-0,90%)
México	0,51	0,56	0,63	0,72	0,83	0,96	1,15	1,37
	(-0,53%)	(-1,12%)	(-2,00%)	(-3,08%)	(-4,08%)	(-4,78%)	(-2,75%)	(-0,97%)
Japão	-1,86	-2,38	-2,99	-3,70	-4,65	-5,56	-6,71	-8,14
	(0,04%)	(-0,01%)	(-0,29%)	(-1,02%)	(-1,74%)	(-2,50%)	(-2,71%)	(-2,85%)
Austrália e N. Zelândia	0,64	0,77	0,94	1,13	1,37	1,63	1,94	2,30
	(-0,05%)	(-0,03%)	(-0,01%)	(0,04%)	(0,09%)	(0,18%)	(0,75%)	1,66%)
União Europeia	-10,27	-12,46	-15,03	-18,06	-21,91	-25,75	-30,50	-36,21
	(-0,09%)	(-0,19%)	(-0,36%)	(-0,63%)	(-0,94%)	(-1,25%)	(-1,33%)	(-1,40%)
Leste Europeu	0,15	0,10	0,06	0,06	0,02	-0,02	-0,11	-0,25
	1,65%)	6,84%)	23,14%)	(-1632,43%)	(-128,68%)	(-83,95%)	(-57,85%)	(-41,88%)
Federação Russa	0,41	0,45	0,49	0,50	0,47	0,42	0,38	0,32
	(-0,05%)	(-0,26%)	(-1,63%)	(-8,39%)	(-16,99%)	(-26,41%)	(-39,18%)	(-51,31%)
Ásia Oriental	-1,35	-1,68	-2,04	-2,42	-2,98	-3,44	-4,08	-4,83
	(-0,20%)	(-0,48%)	(-1,09%)	(-2,54%)	(-4,08%)	(-5,76%)	(-6,14%)	(-6,34%)
China	3,42	5,21	7,42	10,31	13,84	17,57	22,14	27,81
	(-0,12%)	(-0,33%)	(-0,55%)	(-0,54%)	(-0,69%)	(-0,91%)	(-1,13%)	(-1,56%)
Índia	0,68	1,06	1,67	2,37	3,12	3,72	4,55	5,71
	(0,59%)	(1,33%)	(2,22%)	(2,84%)	(3,10%)	(3,36%)	(3,26%)	(3,27%)
Brasil	0,42	0,47	0,58	0,74	0,90	1,05	1,22	1,44
	(0,36%)	(0,79%)	(7,35%)	(17,62%)	(21,75%)	(22,49%)	(15,05%)	(14,22%)
África	1,61	1,84	2,19	2,63	3,22	3,72	4,27	4,93
	(0,06%)	(0,14%)	(-0,10%)	(0,11%)	(0,91%)	(1,28%)	(0,84%)	(0,17%)
Oriente Médio	1,62	1,86	2,16	2,46	2,83	2,99	3,28	3,58
	(-0,01%)	(-0,08%)	(-0,84%)	(-3,27%)	(-5,97%)	(-9,04%)	(-9,73%)	(-10,78%)
América Latina	0,90	1,04	1,20	1,38	1,61	1,91	2,26	2,68
	(-0,27%)	(-0,57%)	(-1,59%)	(-2,95%)	(-2,36%)	(-1,14%)	(0,64%)	(2,05%)
Restante da Ásia	0,93	1,13	1,42	1,81	2,26	2,64	3,14	3,75
	0,09%)	0,22%)	0,26%)	0,08%)	(-0,23%)	(-0,47%)	(-0,59%)	(-0,76%)

Tabela D3 - Variação percentual no índice de bem-estar para a política nos Estados Unidos com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,04%	-0,16%	-0,38%	-0,65%	-0,92%	-1,17%	-1,45%	-1,76%
Canadá	-0,05%	-0,12%	-0,20%	-0,31%	-0,44%	-0,53%	-0,48%	-0,42%
México	-0,10%	-0,24%	-0,50%	-0,95%	-1,39%	-1,74%	-1,81%	-2,10%
Japão	0,00%	0,00%	0,03%	0,09%	0,16%	0,23%	0,25%	0,28%
Austrália e N. Zelândia	-0,02%	-0,03%	-0,06%	-0,06%	-0,04%	0,00%	0,06%	0,15%
União Europeia	0,01%	0,02%	0,03%	0,06%	0,10%	0,14%	0,15%	0,17%
Leste Europeu	0,01%	0,02%	0,01%	0,57%	0,14%	-0,88%	-1,87%	-2,98%
Federação Russa	-0,06%	-0,20%	-0,55%	-1,45%	-2,58%	-3,81%	-5,21%	-6,61%
Ásia Oriental	0,00%	0,00%	0,05%	0,20%	0,38%	0,57%	0,61%	0,67%
China	-0,01%	-0,02%	-0,01%	0,09%	0,20%	0,32%	0,32%	0,32%
Índia	0,01%	0,05%	0,13%	0,30%	0,49%	0,69%	0,70%	0,75%
Brasil	0,01%	0,00%	0,40%	0,25%	-1,29%	-3,24%	-5,64%	-6,66%
África	-0,04%	-0,09%	-0,23%	-0,30%	-0,52%	-1,36%	-2,82%	-4,25%
Oriente Médio	-0,07%	-0,21%	-0,61%	-1,55%	-2,68%	-4,10%	-4,59%	-5,21%
América Latina	-0,04%	-0,10%	-0,22%	-0,44%	-0,57%	-0,94%	-1,55%	-2,26%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,01%	-0,02%	-0,01%	0,02%	0,07%	0,10%	0,12%

Tabela D4 - Variação percentual nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a política na nos Estados Unidos com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-12,03%	-20,68%	-28,94%	-37,29%	-45,29%	-52,64%	-59,53%	-65,91%
Canadá	1,14%	2,79%	4,22%	5,03%	5,66%	6,28%	6,66%	7,39%
México	0,31%	0,73%	0,97%	0,79%	0,53%	0,26%	-0,58%	-1,37%
Japão	0,27%	0,78%	1,39%	2,02%	2,73%	3,46%	3,89%	4,28%
Austrália e N. Zelândia	0,18%	0,45%	0,80%	1,25%	1,77%	2,29%	2,55%	2,86%
União Europeia	0,21%	0,52%	0,83%	1,08%	1,30%	1,57%	1,36%	1,27%
Leste Europeu	0,11%	0,27%	0,42%	0,07%	-0,74%	-1,61%	-2,68%	-3,66%
Federação Russa	0,16%	0,39%	0,65%	0,87%	0,88%	0,75%	14,91%	25,42%
Ásia Oriental	0,21%	0,53%	0,95%	1,52%	2,15%	2,86%	3,09%	3,36%
China	0,07%	0,16%	0,23%	0,32%	0,47%	0,69%	0,83%	0,96%
Índia	0,14%	0,42%	0,85%	1,36%	1,90%	2,44%	2,85%	3,36%
Brasil	0,29%	0,68%	1,25%	1,40%	0,50%	-0,86%	-3,68%	-4,48%
África	0,18%	0,43%	0,72%	1,39%	1,65%	1,49%	0,44%	-0,53%
Oriente Médio	0,16%	0,36%	0,65%	1,10%	1,47%	1,63%	0,90%	0,20%
América Latina	0,29%	0,69%	1,17%	1,74%	2,84%	3,89%	4,04%	4,04%
Restante da Ásia	0,06%	0,14%	0,28%	0,49%	0,76%	1,06%	1,20%	1,35%

Tabela D5 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2050 para a política nos Estados Unidos.

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Biocombustível	Etanol
		41,36%	30,08%	21,29%	0,84%	0,58%	0,21%	5,53%	0,10%
Estados Unidos	10,15%	47,93%	15,16%	34,04%	1,48%	0,52%	0,87%	0,00%	0,00%
Canadá	2,17%	19,98%	55,12%	21,91%	0,75%	2,17%	0,06%	0,00%	0,00%
México	2,34%	3,01%	70,78%	18,66%	0,00%	0,14%	0,06%	7,34%	0,00%
Japão	0,08%	5,26%	0,00%	0,00%	65,74%	14,92%	14,09%	0,00%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	2,77%	79,96%	7,72%	11,54%	0,00%	0,24%	0,02%	0,52%	0,00%
União Europeia	4,87%	31,05%	28,28%	32,77%	5,20%	1,26%	1,45%	0,00%	0,00%
Leste Europeu	4,54%	25,94%	18,84%	31,51%	0,55%	0,37%	0,22%	22,57%	0,00%
Federação Russa	9,71%	14,69%	40,65%	43,05%	1,10%	0,49%	0,01%	0,00%	0,00%
Ásia Oriental	1,18%	1,63%	20,81%	70,20%	5,92%	0,54%	0,90%	0,00%	0,00%
China	25,56%	90,77%	5,73%	2,38%	0,55%	0,52%	0,04%	0,00%	0,00%
Índia	4,25%	84,65%	8,20%	6,27%	0,52%	0,30%	0,06%	0,00%	0,00%
Brasil	2,49%	0,77%	20,16%	3,59%	0,10%	3,49%	0,10%	67,88%	3,91%
África	7,05%	21,65%	39,21%	14,52%	0,04%	0,18%	0,02%	24,38%	0,00%
Oriente Médio	14,82%	0,08%	70,79%	29,10%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
América Latina	5,54%	6,75%	53,61%	22,04%	0,03%	1,10%	0,00%	16,47%	0,00%
Restante da Ásia	2,48%	36,63%	20,56%	42,19%	0,02%	0,53%	0,07%	0,00%	0,00%

APÊNDICE E Cenário de Política nos Estados Unidos e na União Europeia (CB)

Resultados para a simulação de política que reduza as emissões em 14% ao decênio com relação ao cenário de referência simultaneamente nos Estados Unidos e na União Europeia, sob as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis (CB).

Tabela E1 - Variação percentual do PIB para a política simultânea nos EUA e na U.E. com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,14%	-0,40%	-0,71%	-0,97%	-1,22%	-1,46%	-1,76%	-2,09%
Canadá	-0,05%	-0,12%	-0,20%	-0,28%	-0,39%	-0,47%	-0,47%	-0,44%
México	-0,08%	-0,23%	-0,51%	-0,96%	-1,47%	-2,03%	-2,49%	-3,13%
Japão	0,00%	0,00%	0,03%	0,11%	0,21%	0,31%	0,37%	0,43%
Austrália e N. Zelândia	-0,01%	-0,04%	-0,06%	-0,06%	-0,02%	0,06%	0,24%	0,48%
União Europeia	0,00%	-0,18%	-0,46%	-0,76%	-0,90%	-1,10%	-1,35%	-1,58%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,05%	0,29%	-0,08%	-1,03%	-1,99%	-3,29%
Federação Russa	-0,06%	-0,30%	-0,84%	-1,88%	-3,19%	-4,63%	-6,46%	-8,27%
Ásia Oriental	-0,01%	-0,01%	0,04%	0,20%	0,45%	0,71%	0,84%	0,98%
China	-0,02%	-0,04%	-0,05%	0,04%	0,15%	0,26%	0,27%	0,23%
Índia	0,02%	0,06%	0,14%	0,29%	0,46%	0,63%	0,70%	0,82%
Brasil	0,01%	0,01%	0,42%	0,35%	-0,70%	-2,25%	-4,30%	-5,25%
África	-0,03%	-0,14%	-0,36%	-0,51%	-0,80%	-1,74%	-3,22%	-4,80%
Oriente Médio	-0,06%	-0,22%	-0,62%	-1,49%	-2,65%	-4,07%	-5,06%	-6,09%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,26%	-0,47%	-0,56%	-1,04%	-1,87%	-2,85%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,03%	-0,04%	-0,04%	-0,04%	0,02%	0,04%	0,05%

Tabela E2 - Saldo da balança comercial em US\$10 bilhões para a política nos EUA e na U.E. e variação percentual com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	3,10 (-0,50%)	3,61 (-0,75%)	4,17 (-1,73%)	4,86 (-3,99%)	5,56 (-6,62%)	6,34 (-8,66%)	7,25 (-9,35%)	8,31 (-9,52%)
Canadá	0,17 (0,52%)	0,19 (2,25%)	0,20 (3,50%)	0,23 (2,82%)	0,24 (1,10%)	0,28 (0,04%)	0,32 (1,53%)	0,36 (3,15%)
México	0,51 (-0,51%)	0,57 (-0,81%)	0,63 (-1,30%)	0,73 (-2,01%)	0,84 (-3,25%)	0,98 (-3,65%)	1,15 (-2,37%)	1,36 (-1,01%)
Japão	-1,86 (0,04%)	-2,38 (0,03%)	-3,00 (-0,11%)	-3,72 (-0,59%)	-4,66 (-1,46%)	-5,57 (-2,26%)	-6,70 (-2,83%)	-8,11 (-3,19%)
Austrália e N. Zelândia	0,64 (-0,03%)	0,77 (0,35%)	0,95 (0,90%)	1,15 (1,46%)	1,39 (1,69%)	1,65 (1,98%)	1,99 (3,23%)	2,39 (5,61%)
União Europeia	-10,27 (-0,09%)	-12,49 (0,03%)	-15,09 (0,07%)	-18,17 (-0,04%)	-22,09 (-0,12%)	-26,01 (-0,27%)	-30,84 (-0,22%)	-36,68 (-0,14%)
Leste Europeu	0,15 (1,72%)	0,10 (8,34%)	0,06 (28,45%)	0,06 (-1718,92%)	0,04 (-148,58%)	0,00 (-101,77%)	-0,06 (-76,01%)	-0,19 (-54,11%)
Federação Russa	0,41 (-0,05%)	0,45 (-0,66%)	0,49 (-2,87%)	0,48 (-10,80%)	0,44 (-22,37%)	0,37 (-35,38%)	0,29 (-52,95%)	0,22 (-66,29%)
Ásia Oriental	-1,35 (-0,20%)	-1,67 (-0,66%)	-2,04 (-1,39%)	-2,42 (-2,83%)	-2,95 (-4,80%)	-3,40 (-6,86%)	-3,99 (-8,13%)	-4,69 (-8,96%)
China	3,42 (-0,13%)	5,23 (0,04%)	7,48 (0,29%)	10,45 (0,78%)	14,03 (0,62%)	17,81 (0,41%)	22,41 (0,06%)	28,06 (-0,64%)
Índia	0,68 (0,59%)	1,07 (1,89%)	1,69 (3,45%)	2,41 (94,67%)	3,18 (5,12%)	3,80 (5,67%)	4,66 (5,82%)	5,86 (6,05%)
Brasil	0,42 (0,36%)	0,47 (1,35%)	0,59 (8,86%)	0,75 (19,64%)	0,92 (25,16%)	1,09 (27,28%)	1,29 (20,83%)	1,53 (20,69%)
África	1,61 (0,06%)	1,84 (0,28%)	2,19 (0,25%)	2,65 (0,85%)	3,26 (2,01%)	3,77 (2,60%)	4,33 (2,22%)	4,99 (1,36%)
Oriente Médio	1,62 (-0,01%)	1,86 (0,19%)	2,17 (-0,23%)	2,49 (-2,41%)	2,83 (-5,72%)	2,97 (-9,50%)	3,20 (-11,69%)	3,45 (-14,02%)
América Latina	0,90 (-0,27%)	1,04 (-0,26%)	1,21 (-0,86%)	1,39 (-1,81%)	1,64 (-0,50%)	1,95 (1,04%)	2,31 (2,99%)	2,74 (4,36%)
Restante da Ásia	0,93 (0,09%)	1,13 (0,56%)	1,43 (1,08%)	1,84 (1,36%)	2,29 (91,06%)	2,67 (0,90%)	3,18 (0,65%)	3,79 (0,31%)

Tabela E3 - Variação percentual no índice de bem-estar para política simultânea nos EUA e na U.E. com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,04%	-0,17%	-0,39%	-0,67%	-0,96%	-1,24%	-1,56%	-1,91%
Canadá	-0,05%	-0,13%	-0,23%	-0,36%	-0,53%	-0,66%	-0,68%	-0,66%
México	-0,10%	-0,26%	-0,58%	-1,08%	-1,65%	-2,28%	-2,85%	-3,60%
Japão	0,00%	0,00%	0,03%	0,09%	0,17%	0,27%	0,32%	0,38%
Austrália e N. Zelândia	-0,02%	-0,05%	-0,09%	-0,11%	-0,09%	-0,03%	0,16%	0,41%
União Europeia	0,01%	-0,05%	-0,18%	-0,35%	-0,51%	-0,72%	-1,05%	-1,36%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,06%	0,44%	0,10%	-0,94%	-1,98%	-3,40%
Federação Russa	-0,06%	-0,37%	-1,01%	-2,26%	-3,84%	-5,59%	-7,76%	-9,83%
Ásia Oriental	0,00%	-0,01%	0,04%	0,17%	0,38%	0,62%	0,76%	0,90%
China	-0,01%	-0,03%	-0,03%	0,05%	0,18%	0,33%	0,38%	0,41%
Índia	0,01%	0,05%	0,13%	0,31%	0,54%	0,79%	0,91%	1,06%
Brasil	0,01%	-0,01%	0,39%	0,16%	-1,27%	-3,20%	-5,60%	-6,72%
África	-0,04%	-0,16%	-0,43%	-0,58%	-0,82%	-1,85%	-3,55%	-5,38%
Oriente Médio	-0,07%	-0,27%	-0,78%	-1,86%	-3,31%	-5,13%	-6,32%	-7,60%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,29%	-0,55%	-0,67%	-1,24%	-2,15%	-3,27%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,04%	-0,07%	-0,09%	-0,07%	-0,02%	0,04%	0,09%

Tabela E4 - Variação percentual nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) para política simultânea nos EUA e na U.E. com relação ao cenário de referência (CB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-12,03%	-20,68%	-28,93%	-37,28%	-45,29%	-52,64%	-59,53%	-65,91%
Canadá	1,14%	3,05%	4,80%	5,90%	6,89%	7,90%	8,68%	9,82%
México	0,31%	0,80%	1,12%	1,01%	0,77%	0,14%	-1,10%	-2,26%
Japão	0,27%	0,90%	1,67%	2,48%	3,39%	4,37%	5,11%	5,81%
Austrália e N. Zelândia	0,18%	0,55%	1,03%	1,61%	2,29%	3,03%	3,67%	4,29%
União Europeia	-2,11%	-9,74%	-16,70%	-23,82%	-31,63%	-39,57%	-47,82%	-55,90%
Leste Europeu	0,11%	0,48%	0,94%	0,88%	0,08%	-0,68%	-1,93%	-3,16%
Federação Russa	0,16%	0,69%	1,31%	1,85%	1,85%	1,65%	15,74%	25,72%
Ásia Oriental	0,21%	0,66%	1,25%	2,02%	2,86%	3,85%	4,49%	5,15%
China	0,07%	0,20%	0,32%	0,45%	0,64%	0,92%	1,17%	1,44%
Índia	0,14%	0,49%	1,02%	1,64%	2,31%	3,00%	3,60%	4,30%
Brasil	0,29%	0,80%	1,53%	1,73%	1,15%	-0,06%	-2,73%	-3,53%
África	0,18%	0,70%	1,32%	2,30%	2,71%	2,61%	1,49%	0,34%
Oriente Médio	0,16%	0,53%	1,03%	1,68%	2,22%	2,53%	2,06%	1,43%
América Latina	0,29%	0,84%	1,51%	2,27%	3,90%	5,23%	5,75%	6,13%
Restante da Ásia	0,06%	0,17%	0,36%	0,63%	0,99%	1,40%	1,72%	2,03%

Tabela E5 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2050 para política simultânea nos EUA e na U.E. (CB)

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Biocombustível	Etanol
		40,72%	29,08%	20,98%	0,88%	0,59%	0,22%	7,43%	0,09%
Estados Unidos	9,94%	46,84%	15,52%	34,62%	1,55%	0,55%	0,92%	0,00%	0,00%
Canadá	2,14%	20,42%	53,85%	22,65%	0,78%	2,23%	0,07%	0,00%	0,00%
México	2,42%	2,95%	66,96%	17,95%	0,00%	0,14%	0,06%	11,94%	0,00%
Japão	0,08%	5,18%	0,00%	0,00%	65,73%	14,94%	14,15%	0,00%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	3,03%	71,52%	6,79%	10,50%	0,00%	0,22%	0,03%	10,94%	0,00%
União Europeia	4,03%	22,27%	33,14%	34,03%	6,86%	1,79%	1,91%	0,00%	0,00%
Leste Europeu	4,68%	24,50%	17,66%	30,24%	0,54%	0,30%	0,21%	26,55%	0,00%
Federação Russa	9,52%	14,61%	40,24%	42,93%	1,15%	0,51%	0,01%	0,56%	0,00%
Ásia Oriental	1,19%	1,63%	20,26%	70,67%	5,98%	0,54%	0,91%	0,00%	0,00%
China	26,01%	90,90%	5,61%	2,38%	0,55%	0,52%	0,04%	0,00%	0,00%
Índia	4,31%	84,72%	8,08%	6,31%	0,52%	0,30%	0,06%	0,00%	0,00%
Brasil	2,71%	0,68%	17,77%	3,16%	0,09%	3,28%	0,10%	71,44%	3,48%
África	7,05%	19,27%	35,43%	13,51%	0,04%	0,18%	0,02%	31,56%	0,00%
Oriente Médio	14,68%	0,08%	69,98%	29,91%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
América Latina	5,69%	5,65%	48,46%	21,11%	0,03%	1,07%	0,00%	23,67%	0,00%
Restante da Ásia	2,51%	36,67%	20,12%	42,60%	0,02%	0,53%	0,07%	0,00%	0,00%

APÊNDICE F Resultados para Petróleo e Biocombustíveis

Resultados compilados sobre o petróleo e os biocombustíveis para os três cenários de política sob as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis (CB).

Figura F - Produção de petróleo do Oriente Médio para cenários com hipóteses de biocombustíveis válidas (CB)

Tabela F - Síntese dos fluxos comerciais (exportação) do biocombustível em US\$ bilhões

Implementação de política na União Europeia

	EUA	México	Austrália/ N.Z.	U.E.	Leste Europeu	Ex- URSS	Brasil	África	A.L
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2030	0	0	0	-131,38	0	0	131,38	0	0
2035	0	0	0	-355,56	35,06	0	320,49	0	0
2040	0	0	0	-688,09	125,38	0	435,93	126,78	0
2045	0	0	0	-1080,41	229,64	0	551,22	299,55	0
2050	0	0	0	-1487,36	320,69	0	702,92	452,22	11,54

Implementação de política nos Estados Unidos

	EUA	México	Austrália/ N.Z.	U.E.	Leste Europeu	Ex- URSS	Brasil	África	A.L
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	-128,68	0	0	0	0	0	128,68	0	0
2030	-579,85	0	0	0	129,73	0	343,69	106,43	0
2035	-1144,5	0	0	0	243,19	0	485,4	330,6	85,32
2040	-1770,04	3,03	0	0	330,96	0	600,96	604,05	231,04
2045	-2338,74	52,54	0	0	442,13	0	730,99	759,48	353,6
2050	-2948,19	91,38	7,63	0	545,59	0	901,34	915,99	486,26

Implementação de política na União Europeia e nos Estados Unidos

	EUA	México	Austrália/ N.Z.	U.E.	Leste Europeu	Ex- URSS	Brasil	África	A.L
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025	-133,31	0	0	0	0	0	133,31	0	0
2030	-592,82	0	0	0	129,61	0	343,18	120,04	0
2035	-1121,6	0	0	-188,09	271,7	0	506,76	397,3	133,94
2040	-1703,78	37,25	0	-402,98	382,02	0	646,4	719,31	321,79
2045	-2248,43	101,99	48,34	-720,88	540,46	0	812,6	952,9	513,01
2050	-2803,85	150,8	172,86	-1070,07	648,43	27,58	1010,67	1160,87	702,72

APÊNDICE G Cenário de referência (SB)

Resultados para o cenário de referência com as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis relaxadas (SB).

Tabela G1 - Resultado do PIB em US\$ 10 bilhões para o cenário de referência SB.

Região	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	1166,886	1202,269	1258,498	1459,801	1647,172	1855,701	2115,72	2415,683	2745,187	3116,284	3539,038
Canadá	97,1132	100,0553	105,914	120,3059	135,963	154,2778	177,096	201,901	231,7802	266,6739	305,9323
México	68,6215	70,3659	75,4002	82,7962	90,6902	100,0771	113,6601	131,167	152,3984	178,2712	209,1155
Japão	462,4677	471,5599	487,818	532,3099	576,47	622,6053	674,2661	734,5915	801,5142	875,6794	954,1577
Austrália e N. Zelândia	75,5362	77,6498	83,9703	96,7874	111,4178	129,4996	149,6744	173,3162	199,9745	231,1947	265,9927
União Europeia	1279,486	1304,304	1342,997	1475,672	1621,54	1772,222	1935,786	2127,02	2341,741	2589,944	2877,383
Leste Europeu	54,0297	57,2136	67,3924	77,2764	87,6405	100,6842	116,7835	136,545	157,966	180,9696	207,2216
Federação Russa	56,6667	59,4259	69,3233	79,9638	91,0971	103,0217	115,1084	126,4465	138,5896	152,8665	168,9393
Ásia Oriental	166,9045	177,2348	196,8532	230,5195	260,4344	295,8748	339,4125	390,3939	448,8192	515,0526	596,1083
China	183,2685	190,7041	295,5804	429,1301	609,3725	858,4181	1193,302	1505,965	1820,565	2175,108	2571,79
Índia	64,1005	68,2132	97,6392	137,2757	187,577	258,2052	332,415	416,5118	500,7396	606,2271	760,142
Brasil	61,133	69,231	83,0535	100,33	115,1795	133,3306	154,0692	178,3992	205,3329	237,021	273,544
África	79,4161	83,5059	106,7606	122,9154	140,3421	165,3326	196,053	236,002	272,0924	314,1332	363,8219
Oriente Médio	84,991	90,4418	116,4918	136,2146	156,8473	181,7278	210,9942	247,3227	274,932	309,3345	348,1964
América Latina	85,6702	90,3582	108,2103	122,8346	141,8986	164,6042	190,0189	219,597	254,9733	297,3329	346,6475
Restante da Ásia	27,5806	30,9561	42,4142	50,4487	59,981	73,0925	90,0122	109,3509	126,6668	148,4004	173,9083

Tabela G2 - Resultado da balança comercial em US\$ 10 bilhões para o cenário de referência SB.

Região	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-53,611	-47,963	2,486	3,117	3,638	4,245	5,063	5,957	6,946	8,006	9,192
Canadá	1,675	1,519	0,156	0,172	0,182	0,197	0,227	0,237	0,277	0,317	0,352
México	0,706	0,687	0,460	0,514	0,571	0,641	0,743	0,868	1,013	1,187	1,391
Japão	10,412	9,023	-1,431	-1,859	-2,384	-3,004	-3,737	-4,730	-5,700	-6,904	-8,393
Austrália e N. Zelândia	-1,176	-0,989	0,524	0,637	0,769	0,939	1,134	1,369	1,622	1,924	2,266
União Europeia	-5,982	-6,384	-8,361	-10,282	-12,482	-15,083	-18,175	-22,116	-26,078	-30,940	-36,794
Leste Europeu	-3,911	-3,505	0,186	0,145	0,094	0,047	-0,004	-0,077	-0,147	-0,265	-0,420
Federação Russa	7,787	6,988	0,367	0,412	0,454	0,502	0,544	0,562	0,572	0,585	0,590
Ásia Oriental	17,178	15,228	-1,125	-1,350	-1,686	-2,065	-2,486	-3,103	-3,646	-4,356	-5,181
China	12,675	10,904	2,149	3,428	5,229	7,456	10,369	13,940	17,734	22,460	28,399
Índia	-2,095	-1,761	0,441	0,681	1,047	1,632	2,300	3,028	3,597	4,392	5,497
Brasil	3,590	3,356	0,342	0,417	0,467	0,543	0,631	0,737	0,854	0,992	1,146
África	2,887	2,738	1,408	1,606	1,838	2,188	2,624	3,196	3,676	4,263	4,962
Oriente Médio	8,214	7,596	1,398	1,617	1,858	2,176	2,548	3,005	3,285	3,684	4,118
América Latina	2,544	2,380	0,799	0,903	1,044	1,217	1,418	1,653	1,932	2,272	2,668
Restante da Ásia	-0,889	-0,759	0,773	0,930	1,125	1,418	1,813	2,267	2,650	3,164	3,789

Tabela G3 - Emissão de gases estufa em milhões de toneladas métricas de CO₂-e para o cenário de referência SB.

Região	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	7477,1	7470,5	7305,9	7954,9	8199,2	8458,6	8810,9	9216,6	9624,5	10052,8	10514,4
Canadá	762,4	759,2	739,9	790,0	820,5	849,7	886,5	916,7	960,9	1005,1	1045,0
México	647,8	650,6	664,5	694,3	718,9	751,4	805,1	872,5	952,2	1048,0	1156,1
Japão	1560,1	1542,1	1499,4	1518,0	1509,5	1487,4	1470,4	1464,5	1464,8	1469,9	1469,3
Austrália e N. Zelândia	649,7	653,6	652,4	684,6	711,4	740,5	765,6	809,9	854,5	905,4	957,1
União Europeia	5727,4	5632,3	5402,1	5358,8	5386,8	5375,5	5373,7	5426,9	5505,0	5628,7	5786,9
Leste Europeu	1737,9	1781,4	1772,9	1881,1	1978,0	2114,8	2279,1	2475,3	2641,7	2794,8	2956,8
Federação Russa	2097,6	2159,8	2123,5	2174,9	2249,2	2296,6	2314,6	2294,6	2313,0	2346,1	2382,5
Ásia Oriental	2322,8	2404,0	2504,1	2673,1	2755,5	2851,0	2951,5	3079,5	3225,6	3375,5	3563,5
China	6982,5	7148,7	11036,1	14302,3	17635,6	20886,1	24087,3	27394,8	29954,3	32330,0	34571,4
Índia	1902,3	2097,4	2806,9	3489,8	4308,1	5347,7	6111,9	6884,7	7353,0	7914,8	8604,0
Brasil	1073,2	1079,6	1088,7	1130,0	1146,4	1167,2	1180,1	1236,2	1312,8	1422,4	1534,7
África	2421,8	2618,3	3240,2	3336,4	3517,6	3925,0	4378,9	5057,3	5404,3	5854,6	6347,7
Oriente Médio	1726,5	1820,9	2305,4	2409,3	2602,6	2831,7	3067,7	3334,4	3423,3	3622,3	3810,5
América Latina	1426,4	1476,4	1635,1	1691,5	1789,2	1872,9	1929,4	2012,4	2128,2	2265,3	2418,7
Restante da Ásia	1128,3	1180,8	1523,8	1654,0	1818,4	2055,9	2305,7	2567,9	2720,1	2921,4	3128,7

Tabela G4. Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2010 no cenário de referência SB.*

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Etanol
		34,41%	38,12%	25,70%	0,82%	0,68%	0,15%	0,13%
Estados Unidos	14,76%	42,17%	23,00%	32,55%	1,33%	0,46%	0,50%	0,00%
Canadá	3,19%	10,36%	41,22%	45,58%	0,71%	2,12%	0,00%	0,00%
México	2,96%	1,75%	85,11%	12,94%	0,00%	0,18%	0,03%	0,00%
Japão	0,10%	4,16%	0,00%	0,00%	65,37%	16,91%	13,56%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	2,92%	73,88%	12,90%	12,86%	0,00%	0,35%	0,00%	0,00%
União Europeia	8,19%	24,01%	36,99%	33,53%	3,68%	1,14%	0,65%	0,00%
Leste Europeu	3,77%	28,13%	28,59%	41,31%	0,88%	1,09%	0,00%	0,00%
Federação Russa	10,18%	12,66%	39,66%	46,07%	0,89%	0,71%	0,01%	0,00%
Ásia Oriental	2,99%	23,15%	30,27%	44,53%	1,65%	0,29%	0,10%	0,00%
China	17,81%	87,05%	9,12%	3,08%	0,26%	0,49%	0,00%	0,00%
Índia	3,33%	76,37%	12,86%	10,18%	0,17%	0,42%	0,00%	0,00%
Brasil	1,21%	1,89%	74,27%	6,03%	0,25%	7,23%	0,00%	10,34%
África	7,16%	21,82%	56,55%	21,33%	0,04%	0,26%	0,00%	0,00%
Oriente Médio	14,70%	0,09%	74,19%	25,69%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%
América Latina	4,79%	9,71%	64,47%	24,32%	0,06%	1,44%	0,00%	0,00%
Restante da Ásia	1,95%	26,70%	24,87%	47,56%	0,15%	0,72%	0,00%	0,00%

*Esta distribuição permanece a mesma para 2010 em o cenário de política SB.

Tabela G5 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2050 no cenário de referência SB.

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Etanol
		42,80%	32,91%	22,61%	0,80%	0,56%	0,19%	0,12%
Estados Unidos	13,84%	48,90%	15,29%	34,04%	0,98%	0,26%	0,53%	0,00%
Canadá	2,24%	19,33%	57,11%	20,68%	0,72%	2,10%	0,06%	0,00%
México	2,22%	3,16%	75,82%	20,80%	0,00%	0,16%	0,07%	0,00%
Japão	0,07%	5,77%	0,00%	0,00%	65,59%	14,77%	13,87%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	2,82%	80,90%	7,78%	11,08%	0,00%	0,23%	0,01%	0,00%
União Europeia	4,94%	31,01%	29,75%	31,71%	4,94%	1,21%	1,38%	0,00%
Leste Europeu	3,71%	33,67%	25,33%	39,40%	0,67%	0,64%	0,29%	0,00%
Federação Russa	9,83%	14,72%	42,54%	41,21%	1,05%	0,47%	0,01%	0,00%
Ásia Oriental	1,16%	1,65%	21,40%	69,68%	5,84%	0,55%	0,89%	0,00%
China	24,69%	90,57%	5,94%	2,39%	0,55%	0,52%	0,04%	0,00%
Índia	4,20%	84,78%	8,26%	6,09%	0,50%	0,31%	0,06%	0,00%
Brasil	0,94%	2,83%	60,18%	14,48%	0,25%	8,86%	0,31%	13,08%
África	6,42%	26,47%	55,15%	18,10%	0,04%	0,21%	0,02%	0,00%
Oriente Médio	15,12%	0,08%	72,29%	27,61%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%
América Latina	5,36%	8,12%	63,72%	27,00%	0,04%	1,13%	0,00%	0,00%
Restante da Ásia	2,44%	36,62%	21,38%	41,39%	0,02%	0,53%	0,06%	0,00%

APÊNDICE H Cenário de Política nos Estados Unidos e na União Europeia (SB)

Resultados para a simulação de política que reduza as emissões em 14% ao decênio com relação ao cenário de referência simultaneamente nos Estados Unidos e na União Europeia com as hipóteses de produção e comercialização biocombustíveis relaxadas (SB).

Tabela H1 - Variação percentual do PIB para a política simultânea nos EUA e na U.E. com relação ao cenário de referência (SB).								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,14%	-0,40%	-0,77%	-1,30%	-1,92%	-2,66%	-3,33%	-4,23%
Canadá	-0,05%	-0,12%	-0,21%	-0,31%	-0,41%	-0,51%	-0,62%	-0,71%
México	-0,08%	-0,23%	-0,43%	-0,68%	-0,93%	-1,14%	-1,38%	-1,50%
Japão	0,00%	0,00%	0,02%	0,03%	0,05%	0,08%	0,12%	0,12%
Austrália e N. Zelândia	-0,01%	-0,04%	-0,08%	-0,11%	-0,14%	-0,15%	-0,14%	-0,09%
União Europeia	0,00%	-0,18%	-0,47%	-0,82%	-1,27%	-1,88%	-2,72%	-3,74%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,05%	-0,09%	-0,16%	-0,24%	-0,34%	-0,46%
Federação Russa	-0,06%	-0,30%	-0,69%	-1,19%	-1,81%	-2,58%	-3,57%	-4,55%
Ásia Oriental	-0,01%	-0,01%	-0,01%	0,00%	0,01%	0,04%	0,09%	0,10%
China	-0,02%	-0,04%	-0,07%	-0,08%	-0,12%	-0,17%	-0,20%	-0,31%
Índia	0,02%	0,06%	0,11%	0,17%	0,24%	0,32%	0,45%	0,52%
Brasil	0,01%	0,01%	-0,01%	-0,06%	-0,17%	-0,09%	-0,06%	-0,02%
África	-0,03%	-0,14%	-0,29%	-0,45%	-0,63%	-0,85%	-1,10%	-1,32%
Oriente Médio	-0,06%	-0,22%	-0,47%	-0,80%	-1,21%	-1,78%	-2,53%	-3,27%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,23%	-0,36%	-0,51%	-0,66%	-0,84%	-1,00%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,03%	-0,05%	-0,07%	-0,10%	-0,12%	-0,13%	-0,15%

Tabela E2 - Saldo da balança comercial em US\$10 bilhões para a política nos EUA e na U.E. e variação percentual com relação ao cenário de referência (SB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	3,10 (-0,50%)	3,61 (-0,75%)	4,20 (-1,03%)	4,99 (-1,43%)	5,86 (-1,63%)	6,80 (-2,05%)	7,81 (-2,47%)	8,94 (-2,77%)
Canadá	0,17 (0,52%)	0,19 (2,25%)	0,21 (4,26%)	0,24 (6,44%)	0,26 (9,97%)	0,31 (13,06%)	0,37 (16,48%)	0,42 (20,63%)
México	0,51 (-0,51%)	0,57 (-0,81%)	0,63 (-0,95%)	0,74 (-1,04%)	0,86 (-0,89%)	1,01 (-0,48%)	1,19 (0,09%)	1,40 (0,89%)
Japão	-1,86 (0,04%)	-2,38 (0,03%)	-3,01 (0,16%)	-3,75 (0,33%)	-4,75 (0,51%)	-5,74 (0,77%)	-6,98 (1,10%)	-8,53 (1,67%)
Austrália e N. Zelândia	0,64 (-0,03%)	0,77 (0,35%)	0,95 (0,92%)	1,15 (1,54%)	1,40 (2,30%)	1,68 (3,29%)	2,01 (4,30%)	2,40 (5,75%)
União Europeia	-10,27 (-0,09%)	-12,49 (0,03%)	-15,12 (0,23%)	-18,24 (0,37%)	-22,20 (0,40%)	-26,18 (0,37%)	-31,01 (0,22%)	-36,82 (0,08%)
Leste Europeu	0,15 (1,72%)	0,10 (8,34%)	0,06 (28,24%)	0,02 (-537,84%)	-0,05 (-34,88%)	-0,11 (-23,67%)	-0,23 (-14,39%)	-0,38 (-10,45%)
Federação Russa	0,41 (-0,05%)	0,45 (-0,66%)	0,49 (-1,99%)	0,52 (-3,99%)	0,52 (-7,12%)	0,50 (-11,70%)	0,47 (-18,93%)	0,43 (-26,61%)
Ásia Oriental	-1,35 (-0,20%)	-1,67 (-0,66%)	-2,04 (-0,97%)	-2,45 (-1,26%)	-3,06 (-1,54%)	-3,58 (-1,90%)	-4,26 (-2,18%)	-5,06 (-2,38%)
China	3,42 (-0,13%)	5,23 (0,04%)	7,49 (0,50%)	10,46 (0,92%)	14,08 (1,01%)	17,97 (1,30%)	22,86 (1,79%)	29,01 (2,16%)
Índia	0,68 (0,59%)	1,07 (1,89%)	1,69 (3,39%)	2,41 (4,87%)	3,23 (6,56%)	3,90 (8,41%)	4,85 (10,45%)	6,15 (11,82%)
Brasil	0,42 (0,36%)	0,47 (1,35%)	0,56 (2,58%)	0,65 (3,76%)	0,77 (4,15%)	0,90 (5,46%)	1,06 (6,64%)	1,24 (8,04%)
África	1,61 (0,06%)	1,84 (0,28%)	2,20 (0,61%)	2,65 (1,00%)	3,24 (1,50%)	3,75 (2,03%)	4,37 (2,53%)	5,13 (3,36%)
Oriente Médio	1,62 (-0,01%)	1,86 (0,19%)	2,18 (0,36%)	2,56 (0,40%)	3,02 (0,37%)	3,29 (0,07%)	3,66 (-0,67%)	4,08 (-1,02%)
América Latina	0,90 (-0,27%)	1,04 (-0,26%)	1,22 (-0,15%)	1,42 (-0,15%)	1,65 (-0,02%)	1,94 (0,37%)	2,29 (0,67%)	2,70 (1,37%)
Restante da Ásia	0,93 (0,09%)	1,13 (0,56%)	1,44 (1,18%)	1,85 (1,82%)	2,32 (2,49%)	2,74 (3,26%)	3,29 (4,07%)	3,98 (5,03%)

Tabela H3 - Variação percentual no índice de bem-estar para política simultânea nos EUA e na U.E. com relação ao cenário de referência (SB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,04%	-0,17%	-0,41%	-0,77%	-1,27%	-1,89%	-2,54%	-3,33%
Canadá	-0,05%	-0,13%	-0,23%	-0,35%	-0,48%	-0,60%	-0,75%	-0,87%
México	-0,10%	-0,26%	-0,50%	-0,78%	-1,07%	-1,31%	-1,59%	-1,76%
Japão	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,05%	0,08%	0,11%	0,13%
Austrália e N. Zelândia	-0,02%	-0,05%	-0,10%	-0,15%	-0,19%	-0,22%	-0,23%	-0,18%
União Europeia	0,01%	-0,05%	-0,19%	-0,37%	-0,67%	-1,08%	-1,73%	-2,55%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,05%	-0,10%	-0,17%	-0,27%	-0,38%	-0,51%
Federação Russa	-0,06%	-0,37%	-0,84%	-1,45%	-2,21%	-3,16%	-4,36%	-5,54%
Ásia Oriental	0,00%	-0,01%	0,00%	0,01%	0,02%	0,04%	0,09%	0,10%
China	-0,01%	-0,03%	-0,06%	-0,07%	-0,10%	-0,13%	-0,15%	-0,22%
Índia	0,01%	0,05%	0,10%	0,16%	0,24%	0,33%	0,45%	0,53%
Brasil	0,01%	-0,01%	-0,04%	-0,10%	-0,17%	-0,16%	-0,14%	-0,10%
África	-0,04%	-0,16%	-0,34%	-0,54%	-0,75%	-1,02%	-1,33%	-1,59%
Oriente Médio	-0,07%	-0,27%	-0,58%	-1,00%	-1,51%	-2,23%	-3,17%	-4,08%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,24%	-0,39%	-0,56%	-0,73%	-0,94%	-1,11%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,04%	-0,08%	-0,12%	-0,17%	-0,22%	-0,26%	-0,31%

Tabela H4 - Variação percentual nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) para política simultânea nos EUA e na U.E. com relação ao cenário de referência (SB).

Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	- 12,03%	-20,68%	-28,94%	-37,34%	-45,41%	-52,82%	-59,70%	-66,12%
Canadá	1,14%	3,05%	5,17%	7,60%	9,91%	12,04%	13,14%	14,51%
México	0,31%	0,80%	1,32%	1,89%	2,39%	2,84%	3,03%	3,61%
Japão	0,27%	0,90%	1,72%	2,68%	3,91%	5,08%	6,32%	7,03%
Austrália e N. Zelândia	0,18%	0,55%	1,01%	1,56%	2,20%	2,83%	3,46%	4,02%
União Europeia	-2,11%	-9,74%	-16,70%	-23,82%	-31,64%	-39,59%	-47,74%	-55,80%
Leste Europeu	0,11%	0,48%	0,98%	1,53%	2,09%	2,71%	3,31%	3,81%
Federação Russa	0,16%	0,69%	1,30%	1,88%	2,40%	2,85%	3,17%	3,26%
Ásia Oriental	0,21%	0,66%	1,24%	1,97%	2,75%	3,62%	4,57%	5,35%
China	0,07%	0,20%	0,33%	0,47%	0,62%	0,79%	0,99%	1,18%
Índia	0,14%	0,49%	1,02%	1,67%	2,46%	3,24%	4,20%	4,84%
Brasil	0,29%	0,80%	1,43%	1,95%	1,97%	3,30%	3,96%	4,61%
África	0,18%	0,70%	1,29%	1,89%	2,50%	3,09%	3,69%	4,15%
Oriente Médio	0,16%	0,53%	0,95%	1,38%	1,77%	2,18%	2,53%	2,80%
América Latina	0,29%	0,84%	1,48%	2,27%	2,97%	3,51%	3,94%	4,73%
Restante da Ásia	0,06%	0,17%	0,33%	0,51%	0,71%	0,94%	1,21%	1,46%

Tabela H5 - Participação percentual na produção energética mundial por países e tipos de fontes energéticas, e participação de cada fonte dentro do país para 2050 para política simultânea nos EUA e na U.E. (SB)

Região\Fonte energética		Carvão	Petróleo	Gás natural	Nuclear	Hidrelétrica	Solar e eólica	Etanol
		41,30%	34,47%	22,26%	0,93%	0,64%	0,26%	0,13%
Estados Unidos	10,39%	39,30%	21,72%	35,78%	1,55%	0,59%	1,05%	0,00%
Canadá	2,34%	19,10%	56,15%	21,80%	0,74%	2,14%	0,06%	0,00%
México	2,37%	3,18%	75,08%	21,51%	0,00%	0,16%	0,07%	0,00%
Japão	0,08%	5,11%	0,00%	0,00%	65,86%	14,94%	14,09%	0,00%
Austrália e N. Zelândia	2,83%	79,63%	8,16%	11,95%	0,00%	0,25%	0,02%	0,00%
União Europeia	3,80%	16,42%	40,93%	30,03%	7,90%	2,22%	2,50%	0,00%
Leste Europeu	3,93%	32,55%	26,29%	39,53%	0,69%	0,64%	0,31%	0,00%
Federação Russa	10,07%	13,86%	43,29%	41,22%	1,12%	0,50%	0,01%	0,00%
Ásia Oriental	1,26%	1,59%	21,01%	70,08%	5,88%	0,54%	0,89%	0,00%
China	27,02%	90,71%	5,82%	2,36%	0,55%	0,52%	0,04%	0,00%
Índia	4,46%	84,43%	8,38%	6,30%	0,52%	0,30%	0,07%	0,00%
Brasil	1,00%	2,56%	59,80%	15,02%	0,26%	9,12%	0,33%	12,90%
África	6,33%	23,94%	57,40%	18,37%	0,04%	0,23%	0,02%	0,00%
Oriente Médio	16,05%	0,08%	71,24%	28,66%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%
América Latina	5,44%	6,29%	64,54%	27,92%	0,04%	1,21%	0,00%	0,00%
Restante da Ásia	2,62%	36,00%	21,06%	42,31%	0,02%	0,54%	0,07%	0,00%

Tabela H6 - Comparação do resultado do PIB para a política implementada tanto nos Estados Unidos como na União Europeia com relação ao cenário de referência.

Modelo em SB – relaxadas as hipóteses (a) e (b)								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,14%	-0,40%	-0,77%	-1,30%	-1,92%	-2,66%	-3,33%	-4,23%
Canadá	-0,05%	-0,12%	-0,21%	-0,31%	-0,41%	-0,51%	-0,62%	-0,71%
México	-0,08%	-0,23%	-0,43%	-0,68%	-0,93%	-1,14%	-1,38%	-1,50%
Japão	0,00%	0,00%	0,02%	0,03%	0,05%	0,08%	0,12%	0,12%
Austrália e N.Z.	-0,01%	-0,04%	-0,08%	-0,11%	-0,14%	-0,15%	-0,14%	-0,09%
União Europeia	0,00%	-0,18%	-0,47%	-0,82%	-1,27%	-1,88%	-2,72%	-3,74%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,05%	-0,09%	-0,16%	-0,24%	-0,34%	-0,46%
Federação Russa	-0,06%	-0,30%	-0,69%	-1,19%	-1,81%	-2,58%	-3,57%	-4,55%
Ásia	-0,01%	-0,01%	-0,01%	0,00%	0,01%	0,04%	0,09%	0,10%
China	-0,02%	-0,04%	-0,07%	-0,08%	-0,12%	-0,17%	-0,20%	-0,31%
Índia	0,02%	0,06%	0,11%	0,17%	0,24%	0,32%	0,45%	0,52%
Brasil	0,01%	0,01%	-0,01%	-0,06%	-0,17%	-0,09%	-0,06%	-0,02%
África	-0,03%	-0,14%	-0,29%	-0,45%	-0,63%	-0,85%	-1,10%	-1,32%
Oriente Médio	-0,06%	-0,22%	-0,47%	-0,80%	-1,21%	-1,78%	-2,53%	-3,27%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,23%	-0,36%	-0,51%	-0,66%	-0,84%	-1,00%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,03%	-0,05%	-0,07%	-0,10%	-0,12%	-0,13%	-0,15%
Modelo em CB – válidas as hipóteses (a) e (b)								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,14%	-0,40%	-0,71%	-0,97%	-1,22%	-1,46%	-1,76%	-2,09%
Canadá	-0,05%	-0,12%	-0,20%	-0,28%	-0,39%	-0,47%	-0,47%	-0,44%
México	-0,08%	-0,23%	-0,51%	-0,96%	-1,47%	-2,03%	-2,49%	-3,13%
Japão	0,00%	0,00%	0,03%	0,11%	0,21%	0,31%	0,37%	0,43%
Austrália e N.Z.	-0,01%	-0,04%	-0,06%	-0,06%	-0,02%	0,06%	0,24%	0,48%
União Europeia	0,00%	-0,18%	-0,46%	-0,76%	-0,90%	-1,10%	-1,35%	-1,58%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,05%	0,29%	-0,08%	-1,03%	-1,99%	-3,29%
Federação Russa	-0,06%	-0,30%	-0,84%	-1,88%	-3,19%	-4,63%	-6,46%	-8,27%
Ásia	-0,01%	-0,01%	0,04%	0,20%	0,45%	0,71%	0,84%	0,98%
China	-0,02%	-0,04%	-0,05%	0,04%	0,15%	0,26%	0,27%	0,23%
Índia	0,02%	0,06%	0,14%	0,29%	0,46%	0,63%	0,70%	0,82%
Brasil	0,01%	0,01%	0,42%	0,35%	-0,70%	-2,25%	-4,30%	-5,25%
África	-0,03%	-0,14%	-0,36%	-0,51%	-0,80%	-1,74%	-3,22%	-4,80%
Oriente Médio	-0,06%	-0,22%	-0,62%	-1,49%	-2,65%	-4,07%	-5,06%	-6,09%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,26%	-0,47%	-0,56%	-1,04%	-1,87%	-2,85%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,03%	-0,04%	-0,04%	-0,04%	0,02%	0,04%	0,05%

Tabela H7 - Comparação das perdas de bem-estar para a política implementada tanto nos Estados Unidos como na União Europeia com relação ao cenário de referência.

Modelo em SB – relaxadas as hipóteses (a) e (b)								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,04%	-0,17%	-0,41%	-0,77%	-1,27%	-1,89%	-2,54%	-3,33%
Canadá	-0,05%	-0,13%	-0,23%	-0,35%	-0,48%	-0,60%	-0,75%	-0,87%
México	-0,10%	-0,26%	-0,50%	-0,78%	-1,07%	-1,31%	-1,59%	-1,76%
Japão	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,05%	0,08%	0,11%	0,13%
Austrália e N.Z.	-0,02%	-0,05%	-0,10%	-0,15%	-0,19%	-0,22%	-0,23%	-0,18%
União Europeia	0,01%	-0,05%	-0,19%	-0,37%	-0,67%	-1,08%	-1,73%	-2,55%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,05%	-0,10%	-0,17%	-0,27%	-0,38%	-0,51%
Federação Russa	-0,06%	-0,37%	-0,84%	-1,45%	-2,21%	-3,16%	-4,36%	-5,54%
Ásia	0,00%	-0,01%	0,00%	0,01%	0,02%	0,04%	0,09%	0,10%
China	-0,01%	-0,03%	-0,06%	-0,07%	-0,10%	-0,13%	-0,15%	-0,22%
Índia	0,01%	0,05%	0,10%	0,16%	0,24%	0,33%	0,45%	0,53%
Brasil	0,01%	-0,01%	-0,04%	-0,10%	-0,17%	-0,16%	-0,14%	-0,10%
África	-0,04%	-0,16%	-0,34%	-0,54%	-0,75%	-1,02%	-1,33%	-1,59%
Oriente Médio	-0,07%	-0,27%	-0,58%	-1,00%	-1,51%	-2,23%	-3,17%	-4,08%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,24%	-0,39%	-0,56%	-0,73%	-0,94%	-1,11%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,04%	-0,08%	-0,12%	-0,17%	-0,22%	-0,26%	-0,31%
Modelo em CB – válidas as hipóteses (a) e (b)								
Região	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	-0,04%	-0,17%	-0,39%	-0,67%	-0,96%	-1,24%	-1,56%	-1,91%
Canadá	-0,05%	-0,13%	-0,23%	-0,36%	-0,53%	-0,66%	-0,68%	-0,66%
México	-0,10%	-0,26%	-0,58%	-1,08%	-1,65%	-2,28%	-2,85%	-3,60%
Japão	0,00%	0,00%	0,03%	0,09%	0,17%	0,27%	0,32%	0,38%
Austrália e N.Z.	-0,02%	-0,05%	-0,09%	-0,11%	-0,09%	-0,03%	0,16%	0,41%
União Europeia	0,01%	-0,05%	-0,18%	-0,35%	-0,51%	-0,72%	-1,05%	-1,36%
Leste Europeu	0,01%	-0,01%	-0,06%	0,44%	0,10%	-0,94%	-1,98%	-3,40%
Federação Russa	-0,06%	-0,37%	-1,01%	-2,26%	-3,84%	-5,59%	-7,76%	-9,83%
Ásia Oriental	0,00%	-0,01%	0,04%	0,17%	0,38%	0,62%	0,76%	0,90%
China	-0,01%	-0,03%	-0,03%	0,05%	0,18%	0,33%	0,38%	0,41%
Índia	0,01%	0,05%	0,13%	0,31%	0,54%	0,79%	0,91%	1,06%
Brasil	0,01%	-0,01%	0,39%	0,16%	-1,27%	-3,20%	-5,60%	-6,72%
África	-0,04%	-0,16%	-0,43%	-0,58%	-0,82%	-1,85%	-3,55%	-5,38%
Oriente Médio	-0,07%	-0,27%	-0,78%	-1,86%	-3,31%	-5,13%	-6,32%	-7,60%
América Latina	-0,04%	-0,12%	-0,29%	-0,55%	-0,67%	-1,24%	-2,15%	-3,27%
Restante da Ásia	-0,01%	-0,04%	-0,07%	-0,09%	-0,07%	-0,02%	0,04%	0,09%

Tabela H8 - Resultado da balança comercial (em US\$ 10 bi) para a política climática nos EUA e na U.E. para os anos em que houve alteração entre CB e SB.

Região		2025	2030	2035	2040	2045	2050
Estados Unidos	SB	4,20	4,99	5,86	6,80	7,81	8,94
	CB	4,17	4,86	5,56	6,34	7,25	8,31
	%	0,71%	2,67%	5,35%	7,24%	7,70%	7,57%
Canadá	SB	0,21	0,24	0,26	0,31	0,37	0,42
	CB	0,20	0,23	0,24	0,28	0,32	0,36
	%	0,74%	3,52%	8,77%	13,02%	16,19%	19,11%
México	SB	0,63	0,74	0,86	1,01	1,19	1,40
	CB	0,63	0,73	0,84	0,98	1,15	1,36
	%	0,35%	0,99%	2,44%	3,29%	3,17%	2,81%
Japão	SB	-3,01	-3,75	-4,75	-5,74	-6,98	-8,53
	CB	-3,00	-3,72	-4,66	-5,57	-6,70	-8,11
	%	0,26%	0,93%	2,00%	3,10%	4,17%	5,25%
Austrália e Nova Zelândia	SB	0,95	1,15	1,40	1,68	2,01	2,40
	CB	0,95	1,15	1,39	1,65	1,99	2,39
	%	0,01%	0,08%	0,60%	1,28%	1,09%	0,23%
União Europeia	SB	-15,12	-18,24	-22,20	-26,18	-31,01	-36,82
	CB	-15,09	-18,17	-22,09	-26,01	-30,84	-36,68
	%	0,16%	0,41%	0,52%	0,65%	0,53%	0,40%
Leste Europeu	SB	0,06	0,02	-0,05	-0,11	-0,23	-0,38
	CB	0,06	0,06	0,04	0,00	-0,06	-0,19
	%	-0,17%	-72,95%	-234,04%	-4415,38%	254,62%	94,32%
Federação Russa	SB	0,49	0,52	0,52	0,50	0,47	0,43
	CB	0,49	0,48	0,44	0,37	0,29	0,22
	%	0,90%	7,63%	19,64%	36,64%	61,64%	94,69%
Ásia Oriental	SB	-2,04	-2,45	-3,06	-3,58	-4,26	-5,06
	CB	-2,04	-2,42	-2,95	-3,40	-3,99	-4,69
	%	0,42%	1,61%	3,42%	5,32%	6,73%	7,73%
China	SB	7,49	10,46	14,08	17,97	22,86	29,01
	CB	7,48	10,45	14,03	17,81	22,41	28,06
	%	0,21%	0,14%	0,39%	0,89%	2,04%	3,38%
Índia	SB	1,69	2,41	3,23	3,90	4,85	6,15
	CB	1,69	2,41	3,18	3,80	4,66	5,86
	%	-0,06%	0,18%	1,37%	2,60%	4,02%	4,87%
Brasil	SB	0,56	0,65	0,77	0,90	1,06	1,24
	CB	0,59	0,75	0,92	1,09	1,29	1,53
	%	-5,77%	-13,28%	-16,78%	-17,15%	-17,78%	-18,85%
África	SB	2,20	2,65	3,24	3,75	4,37	5,13
	CB	2,19	2,65	3,26	3,77	4,33	4,99
	%	0,36%	0,15%	-0,50%	-0,55%	0,86%	2,85%
Oriente Médio	SB	2,18	2,56	3,02	3,29	3,66	4,08
	CB	2,17	2,49	2,83	2,97	3,20	3,45

	%	0,59%	2,88%	6,46%	10,58%	14,18%	18,03%
América Latina	SB	1,22	1,42	1,65	1,94	2,29	2,70
	CB	1,21	1,39	1,64	1,95	2,31	2,74
	%	0,72%	1,69%	0,49%	-0,67%	-1,15%	-1,22%
Restante da Ásia	SB	1,44	1,85	2,32	2,74	3,29	3,98
	CB	1,43	1,84	2,29	2,67	3,18	3,79
	%	0,10%	0,45%	1,41%	2,33%	3,51%	4,89%