

# Impactos de Políticas Climáticas em Países Desenvolvidos sobre a Economia Brasileira

Érica Marina Carvalho de Lima

*Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto,  
Universidade de São Paulo (FEA-RP/USP), Brasil*

Angelo Costa Gurgel

*Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas (EESP/FGV), Brasil*

---

## Resumo

O presente trabalho investiga os impactos sobre a economia brasileira advindos de políticas climáticas adotadas em países desenvolvidos. Utiliza-se um modelo dinâmico e multirregional de equilíbrio geral aplicado, com representação explícita de parâmetros que caracterizam as especificidades da economia brasileira. Os resultados indicam que o Brasil sofre impactos mínimos em PIB e bem-estar diante de políticas de restrição às emissões nos EUA e UE. Contudo, sob pressuposições de disponibilidade futura de tecnologias de biocombustíveis avançados, sem barreiras comerciais, livre de emissões, e capazes de substituir perfeitamente o petróleo refinado, o Brasil torna-se o principal produtor mundial, o que provoca forte desvio de recursos das demais atividades econômicas em direção à produção de biocombustíveis, além da deterioração dos termos de troca. Para os países desenvolvidos, entretanto, o desenvolvimento e possível comercialização de biocombustíveis de segunda geração são benéficos por desonerar as políticas climáticas e permitir acentuadas reduções nas emissões do setor de transportes.

*Palavras-chave:* Política Climática, Mercado de Carbono, Equilíbrio Geral, Gases de Efeito Estufa

*Classificação JEL:* Q54, Q56, C68

---

## Abstract

The paper studies the development strategy in Brazil along Vargas' second term, focusing the interpretations which emphasize either the assumed incoherence of his cabinet, or its alleged economic orthodoxy, associated with Horacio Lafer's term as Minister of Finance. The central argument is that Lafer's role is not, at first, a sign of orthodoxy nor of development incoherence, as long as his ideas and actions were neither orthodox nor controlled all government economic bodies. After evaluating Lafer's postures regarding Banco do Brasil credit policy (lead by Ricardo Jafet), the paper concludes with an evaluation of his ideas and actions related to fiscal and financial policies, consistently articulated to the economic development strategy of Vargas's second term.

---

## 1. Introdução

Desde a Revolução Industrial e ao longo das últimas décadas, 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. 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 alii 2008). Há evidências científicas confirmadas de que esse aumento desproporcional da temperatura terrestre esteja relacionado justamente com as emissões antropológicas dos gases de efeito estufa (Hassol 2004).

Entre as 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. 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 discutida 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 alii 2008). Uma das vantagens desse sistema é que os custos marginais da redução se igualam entre os participantes deste comércio (Jacoby et alii 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. O esquema já se prepara para uma terceira fase de implementação, 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 alii (2009), diversas propostas em circulação no Congresso consideraram diferentes níveis de abrangência e redução em emissões. Mais recentemente, o *American Clean Energy and Security Act* foi aprovado pela Câmara dos Deputados (*House of Representatives*) do Congresso Americano, mas não passou pelo senado. A lei previa a adoção de um

---

\* Recebido em julho de 2011, aprovado em março de 2012. O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro e bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq e bolsa de mestrado da CAPES, e com recursos da Rede Clima. Os autores agradecem os comentários e sugestões dos revisores anônimos, que em muito contribuíram para melhorias no trabalho.  
E-mail addresses: erica.economia@gmail.com, angelo.gurgel@fgv.br

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 alii (2009).

A relevância dessas políticas climáticas é que, uma vez adotadas por alguns países, 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. Além disso, 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 beneficia outros.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é analisar os possíveis impactos sobre a economia brasileira advindos da implantação dos projetos em pauta no congresso estadunidense bem como uma nova fase de maior restrição às emissões da política de créditos de carbono já existente na União Europeia.

## 2. Estudos sobre o Tema

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. 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” 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 (Diniz 2007).

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 alii

2008; Paltsev et alii 2009). Mas, certamente, como afirmam Jacoby et alii (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 CO<sub>2</sub>. É o caso do Japão, que atingiu suas metas compensando suas emissões em projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) na China.

No final de 2009, a Conferência de Copenhague 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 Copenhague, enquanto o grupo chamado “sob o Protocolo de Quioto” preocupou-se com uma segunda etapa de implantação 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.

Muitos modelos econômicos vêm sendo desenvolvidos para simular políticas econômicas designadas para lidar com o problema de externalidade associado às emissões de gases de efeito estufa (GEEs).<sup>1</sup> Mas, apesar de a literatura ser recente, há diversas aplicações desses modelos no estudo de políticas e medidas para redução de emissões de GEEs. Alguns trabalhos analisam propostas recentes de implementação de restrições quantitativas e impostos às emissões de carbono em países como os EUA (Jorgenson et alii 2008; Metcalf et alii 2008; Paltsev et alii 2008) e o Japão (Kasahara et alii 2007). Outros, extrapolam os efeitos dessas

---

<sup>1</sup> Entre eles, estão modelos como MERGE (Manne et alii 1995), ENTICE (Popp 2004) e EPPA (Paltsev et alii 2005).

políticas, se adotadas, para países do mundo com um todo, agrupando-os de acordo com o objeto de interesse (Babiker e Jacoby 1999; Babiker e Eckaus 2000). 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.

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

Uma análise para o mercado de carbono no Brasil encontra-se em Rocha (2003), que encontra resultados para a aplicação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no país, averiguando a sua participação no mercado de Certificados de Emissões Reduzidas, mas não investiga os efeitos no de políticas climáticas adotadas em países terceiros.

Por sua vez, Lopes (2003) constrói um modelo aplicado de equilíbrio geral para avaliar a economia brasileira no caso de uma taxação na emissão de GEEs. A conclusão é de que haveria uma efetiva redução na emissão de CO<sub>2</sub>, 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 estudam os impactos que introdução de um imposto sobre emissões de gases causadores do efeito estufa teria sobre a economia brasileira. Concluem que 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.

Já Porto Jr. e Feijó (2009) analisam os efeitos para o Brasil das reduções de emissão de CO<sub>2</sub> 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 diferentes para as reduções do gás para os signatários do Protocolo, admitindo também a possibilidade do comércio de emissões. O trabalho 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.

Mais recentemente, Seroa da Motta (2011) discute o papel das barreiras comerciais nas políticas unilaterais de países desenvolvidos para mitigação das mudanças no clima. Esse autor destaca os tipos de barreiras comerciais em discussão, bem como as possíveis interpretações e limitações de aplicação das mesmas diante das regras estabelecidas junto à Organização Mundial de Comércio. Por fim, apresenta uma revisão de estudos que simulam os efeitos dessas barreiras e revelam a baixa eficácia e eficiência das mesmas, com impactos diferenciados sobre os setores brasileiros.<sup>2</sup>

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.

### 3. Metodologia

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 *Emissions Prediction and Policy Analysis* (EPPA) é um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) 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.

O EPPA é um modelo multirregional e multissetorial, 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 previsões sobre 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 são apresentados na Tabela 1.

---

<sup>2</sup> Outros estudos relevantes sobre os efeitos de barreiras comerciais associados às políticas climáticas unilaterais de países desenvolvidos incluem Babiker e Rutherford (2005), Ismer e Neuhoﬀ (2007), Tian e Whalley (2010), Fischer e Boehringer (2010), Adkins et alii (2011), Winchester et alii (2011) e Caron (2011). Como os efeitos de tais medidas protecionistas não são considerados no presente trabalho, reserva-se para estudos futuros uma discussão mais detalhada das mesmas. Dessa forma, o presente estudo apenas considera os efeitos econômicos provenientes das mudanças em competitividade de setores e indústrias e da renda nos países desenvolvidos, que por sua vez impactam o comércio internacional.

Tabela 1  
Países, Regiões e Setores do Modelo EPPA

| País ou Região                 | Setores                                 | Fatores                      |
|--------------------------------|---|------------------------------|
| <i>Desenvolvidos</i>           | <i>Não-Energéticos</i>                  | 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                       | Áreas de culturas agrícolas  |
| <i>Em Desenvolvimento</i>      | <i>De Energia</i>                       | Pastagens                    |
| Índia                          | Carvão                                  | Áreas de florestas plantadas |
| China                          | Petróleo bruto                          | Áreas de florestas naturais  |
| Brasil                         | Petróleo refinado                       | Áreas de pastagens natur.    |
| 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                      |                              |
|                                | Gás sintético                           |                              |
|                                | Biocombustível (2 <sup>a</sup> geração) |                              |
|                                | Etanol de cana-de-açúcar <sup>1</sup>   |                              |

\*CCGN: Ciclo combinado de gás natural.

\*\*SCC: Sequestro e captura de carbono.

<sup>1</sup>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 modelo 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. Na versão anterior, a economia brasileira encontrava-se agregada à dos demais países da América Latina e, por isso, não poderia ser analisada em particular. Contudo, 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 separadamente.

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 alii 2009) e a implementação da terceira fase do Plano de Comércio de Emissões em aplicação pela União Europeia.

Os dados econômicos do modelo EPPA são construídos a partir do Global Trade Analysis Project – GTAP (Narayanan e Walmsley 2008), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral, 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, CO<sub>2</sub>; metano, CH<sub>4</sub>; óxido nitroso, N<sub>2</sub>O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre; SF<sub>6</sub>) são obtidas de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Por fim, os dados de outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico, SO<sub>2</sub>; óxidos de nitrogênio, NO<sub>x</sub>, carbono, BC; carbono orgânico, OC; amônia, NH<sub>3</sub>; monóxido de carbono, CO; e compostos orgânicos voláteis não-metano, VOC) estão no banco de dados global EDGAR (Olivier e Berdowski 2001), do *Global Change Master Directory*, da NASA.

O Modelo EPPA é formulado utilizando-se uma representação matemática de problemas de complementaridade mista, a ser ilustrada nesta seção, e solucionada numericamente por meio do General Algebraic Modeling System (GAMS). O software GAMS (Brooke et alii 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.

Cada região do modelo 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 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 de um problema de complementaridade mista, 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. Três condições são impostas. A primeira, 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:

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

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 segunda 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:

$$oferta - demanda \geq 0; p \geq 0; p^T(oferta - demanda) = 0 \quad (2)$$

A terceira 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 mais as rendas tributárias:

$$renda = dotacoes\ de\ fatores + rendas\ tributarias \quad (3)$$

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  $\pi$  e  $C$  denotam as funções lucro e custo, respectivamente, o problema de maximização de uma firma é, portanto, o seguinte:

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

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  $k$ , seus preços por  $w$  e os insumos 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:

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

em que  $c$  é a função de custo unitário.

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

$$x_{rji} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial p_{rj}} \tag{6}$$

e a demanda pelo fator  $f$  é:

$$k_{rfi} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial w_{rf}} \tag{7}$$

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:

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

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:

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

Sendo  $E$  a função de despesa unitária. Supondo o nível inicial de gasto em cada região, pelo Lemma de Shephard a demanda final compensada por bens é dada por:

$$d_{ri} = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \tag{10}$$

Enquanto que a demanda final compensada por poupança é:

$$s_r = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}} \tag{11}$$

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:

$$y_{ri} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial c_{rj}}{\partial p_{ri}} + \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \tag{12}$$

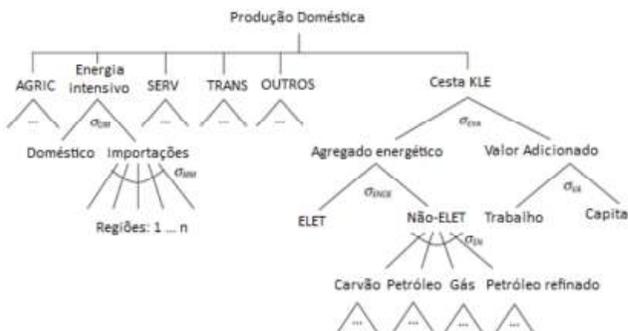
$$k_{rf} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial c_{rj}}{\partial w_{rf}} \tag{13}$$

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. Esta 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 seus custos de mitigação.

Na Figura 1 está representada 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. Já a parte energética da estrutura é desagregada, e inclui carvão, petróleo, gás natural e petróleo refinado.<sup>3</sup>

Fig. 1. Estrutura dos Setores de Produção: Serviços, Transporte Industrial, intensivos em energia e outras indústrias



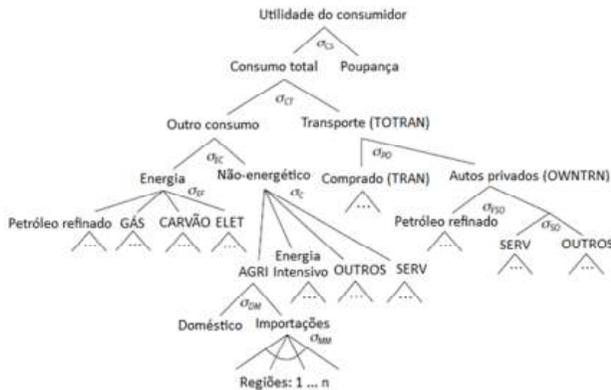
Fonte: Paltsev et alii (2005).

Em seu turno, a estrutura de representação dos domicílios é construída a partir da escolha do consumidor, como pode ser observado na Figura 2. 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. Aquele

<sup>3</sup> As elasticidades de substituição utilizadas, bem como as demais árvores tecnológicas, podem ser encontradas em Paltsev et alii (2005).

primeiro 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.<sup>4</sup>

Fig. 2. Estrutura do setor das famílias



Fonte: Paltsev et alii (2005).

O modelo ainda apresenta uma representação explícita de mudanças no uso da terra, com a possibilidade de expansão da área agrícola sobre áreas de vegetação natural e conversão de um tipo de uso da terra em outro.<sup>5</sup> Para tal, utilizam-se funções de conversão que consideram os custos relacionados às mudanças necessárias para que uma área de vegetação natural ou de dado uso do solo seja transformada para outro uso, seguindo a mesma abordagem adotada em Gurgel et alii (2007) e Gurgel (2011). Os dados sobre os diferentes tipos de ocupação e uso da terra e os parâmetros utilizados nas funções de conversão do uso da terra foram retirados de Gurgel et alii (2007) e Melillo et alii (2009).

Finalmente, o fechamento macroeconômico do modelo a cada período considera que a oferta total de cada fator primário de produção é constante e que todos os fatores, com exceção da parcela não-maleável do capital,<sup>6</sup> 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 e terras ocupadas por vegetação natural podem ser transformadas em terras agrícolas via investimentos, enquanto os recursos naturais são exclusivos dos setores extrativos para a 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

<sup>4</sup> As elasticidades de substituição no consumo podem ser encontradas em Paltsev et alii (2005).

<sup>5</sup> Os cinco tipos de uso da terra no modelo estão listados na coluna “Fatores” da Tabela 1.

<sup>6</sup> A parcela não-maleável do capital, representada por funções do tipo Leontief, é definida na modelagem de forma a representar a rigidez de curto prazo deste fator de produção.

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 são assumidos exógenos. Essa formulação visa atenuar desequilíbrios 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.

Assim, 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.<sup>7</sup> O modelo considera uma propensão marginal a poupar constante em relação à renda e que o estoque de capital cresce a partir dos investimentos realizados no período anterior, considerando uma taxa de depreciação constante do mesmo.

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. E a evolução da renda de um período para o outro altera as parcelas de consumo de diferentes bens, refletindo a redução da participação de gastos com alimentos e aumento da participação de gastos com serviços à medida que cresce a renda *per capita* dos países. Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem conforme 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, desta forma, estimativas e previsões sobre o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) 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.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Ressalva-se que o progresso tecnológico é considerado exógeno no modelo, o que constitui uma limitação da metodologia adotada, contudo, um pressuposto comum na modelagem EGC. Apesar disso, o modelo permite mudanças na proporção de uso de fatores, energia e outros insumos em respostas a mudanças nos preços relativos, o que reflete mudanças no padrão tecnológico dos setores.

<sup>8</sup> Maiores detalhes sobre o modelo EPPA, bem como elasticidades adotadas, podem ser encontrados em Paltsev et alii (2005).

#### 4. Cenários Simulados

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 sobre as emissões de acordo com o conteúdo de carbono em diferentes combustíveis. As políticas podem ser modeladas por região, por setor ou por tipo de GEE.

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 computados 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 de ambas no comércio internacional como um todo e, em especial, com o Brasil. Conforme discutido anteriormente, 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.

O esquema de comércio de emissões da União Europeia (EU Emissions Trading Scheme – EU ETS) foi inaugurado em 2005, como o maior esquema de créditos de carbono do mundo e a principal política de combate às mudanças climáticas da União Europeia. Em média, mais de dez milhões de permissões de emissão são transacionadas por semana.

Atualmente, pode-se dividir a implementação do EU ETS em três fases. O primeiro período, equivalente a três anos, estendendo-se de 1º de janeiro de 2005 até o final de 2007 correspondeu a etapa de aprendizagem do programa, crucial para a continuidade da implantação. Já o segundo período corresponde ao período base dos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto, indo de 1º de janeiro de 2008 até o final de 2012. A importância dessa segunda etapa se dá justamente pela avaliação sobre o cumprimento das metas do Protocolo. Nesse segundo período de 5 anos, os países devem limitar suas emissões cerca de 6,5% abaixo dos níveis de 2005, o que significa, no geral, um cumprimento das metas. Uma terceira etapa, após esta, é comumente chamada de Pós-2012.

Na terceira etapa de implementação do EU ETS, o volume 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.

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.

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. Vinte e oito estados do país contam com planos de ação para o clima e nove têm metas de emissão definidas. 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 (Regional Greenhouse Gas Initiative 2012). 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*” (California Environmental Protection Agency 2006). 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 (Western Climate Initiative 2012).

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), mas que, contudo, foi barrado no Senado. Tratava-se de um projeto de lei com o propósito de estabelecer um sistema de créditos de carbono para os EUA, similar ao EU ETS. 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 (CO<sub>2</sub>), 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 (Paltsev et alii 2009; US Congress 2009).

A partir das possibilidades de implementação de políticas climáticas discutidas

acima, serão simulados dois cenários de política, além de um cenário de referência, de trajetória da economia mundial se ela continuasse sob as mesmas dinâmicas que a determinam hoje.<sup>9</sup> Assim, como a segunda fase do EU ETS já está em vigor, o cenário de referência irá captar como seria a continuidade dessa política seguindo o nível de restrições atual. Os cenários de política consideram a intensificação da política climática para a União Europeia (3ª fase) ao mesmo tempo em que a adoção de um mercado de créditos de carbono nos Estados Unidos. Ainda, serão considerados dois conjuntos de hipóteses alternativas quanto à disponibilidade da tecnologia de biocombustíveis de segunda geração no modelo.<sup>10</sup>

No primeiro, assume-se que esta tecnologia não será desenvolvida a custo competitivo, ou seja, não será possível utilizá-la em país algum do mundo como substituta a combustíveis fósseis no setor de transportes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.<sup>11</sup> O segundo conjunto de hipóteses considera que o biocombustível de segunda geração torna-se disponível em escala comercial em algum momento no futuro, sendo um bem substituto perfeito do petróleo refinado, comercializado livremente sem barreiras comerciais, como o petróleo.<sup>12</sup> Isso permite considerar duas condições extremas: a continuidade no uso de combustíveis fósseis no setor de transporte e de elevadas barreiras comerciais no comércio do etanol observado atualmente, inviabilizando o uso deste como alternativa ao petróleo em escala global; e o desenvolvimento do etanol celulósico, capaz de

<sup>9</sup> Ressalva-se que não foram considerados nos cenários simulados, incluindo o de referência, os investimentos anunciados pelo governo brasileiro para o desenvolvimento da exploração do petróleo da camada pré-sal. Duas razões justificam essa escolha: primeiro, tais investimentos, se concretizados, trarão mudanças consideráveis na produção de energia no país e na pauta de comércio brasileira, bem como na demanda por bens industriais e serviços, o que justifica por si só um estudo específico e cuidadoso sobre o tema. Segundo, ainda existem incertezas consideráveis sobre a capacidade plena de desenvolvimento da exploração no pré-sal e o horizonte temporal em que tal desenvolvimento deve ocorrer, devido a aspectos como necessidade de vultosos investimentos domésticos e estrangeiros em tecnologia, capital físico e capital humano, e necessidade de estabelecimento de marco regulatório apropriado. Dessa forma, a não representação da exploração do pré-sal no modelo EPPA evita ter que assumir hipóteses sobre quando e em quanto a produção brasileira de petróleo será alterada, sendo que os resultados do modelo seriam potencialmente influenciados por tais hipóteses.

<sup>10</sup> Essa tecnologia de biocombustíveis avançados baseia-se na quebra da celulose de qualquer tipo de material vegetal, sendo portanto, bem mais eficaz em reduzir emissões de gases de efeito estufa que as tecnologias correntes. Tal tecnologia, apesar de já ser conhecida, encontra-se em desenvolvimento para possível uso em larga escala no futuro, uma vez que seu custo de produção corrente não a torna atrativa. Vale ressaltar que essa tecnologia no Brasil provavelmente será utilizada na forma de aproveitamento completo do bagaço da cana-de-açúcar, ou seja, o etanol celulósico no Brasil utilizará a cana-de-açúcar como matéria prima. Melillo et alii (2009) apresenta maiores discussões sobre essa tecnologia.

<sup>11</sup> A 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 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; e/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 em grande escala para países aplicando políticas climáticas ou com limitações na oferta de petróleo.

<sup>12</sup> A representação dessa tecnologia segue a mesma abordagem adotadas por Reilly e Paltsev (2009), Melillo et alii (2009) e Gurgel et alii (2007). Os parâmetros tecnológicos e custos relativos nas diferentes regiões do modelo EPPA são os mesmos utilizados no trabalho de Gurgel et alii (2007).

um saldo líquido nulo de emissões e comercializado livremente nos mercados internacionais.

Assim, o trabalho considera os seguintes cenários de simulação:

- a) Cenário de referência sem disponibilidade de biocombustíveis de segunda geração;
- b) cenário de políticas climáticas, sem disponibilidade de biocombustíveis de segunda geração;
- c) cenário de referência, com disponibilidade de biocombustíveis de segunda geração, e;
- d) cenário de políticas climáticas, com disponibilidade e comércio livre de biocombustíveis de segunda geração.

O cenário de políticas climáticas considera a implementação da terceira fase da política na União Europeia (redução de 14% ao decênio em relação às emissões observadas em 2005) e política de redução de 14% ao decênio nos EUA em relação às emissões observadas em 2005. 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 CO<sub>2</sub> 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.<sup>13</sup>

## 5. Resultados

Serão apresentados aqui alguns dos principais resultados obtidos no estudo, de forma a evidenciar os impactos das políticas sobre o bem-estar e o crescimento do Brasil, da América Latina e das economias que aplicam as políticas climáticas (EUA e UE), as mudanças no uso da terra no Brasil, e as trajetórias de preços mundiais do petróleo e emissões globais de gases de efeito estufa.

A Tabela 2 apresenta as variações em bem-estar<sup>14</sup> no cenário de implementação de políticas climáticas nos EUA e na UE, em relação ao cenário de referência, para

<sup>13</sup> Restrições quantitativas em emissões de gases de efeito estufa em modelos de equilíbrio geral são impostas pela fixação de um limite máximo de emissões, estabelecido pela distribuição de créditos ou permissões de emissões aos agentes representativos. Para cada unidade física de emissões proveniente do uso de energia fóssil, de insumos emissores (como fertilizantes na agricultura) ou de processos produtivos emissores (como do cimento e da produção pecuária), o modelo impõe a necessidade de compra de créditos de emissões em montante equivalente às emissões geradas. Essa restrição quantitativa gera um preço sombra para os créditos de emissões, que seria equivalente a um imposto endogenamente determinado de forma a atingir a restrição quantitativa estabelecida. Como o mercado de emissões é estabelecido de forma ampla, os diferentes setores podem negociar créditos de emissões, de forma que o preço sombra pode ser interpretado como o preço de equilíbrio resultante da demanda pelos créditos pelos diferentes setores, dada a restrição quantitativa estabelecida pela política. Isso permite que aqueles setores com menores custos de abatimento assumam maiores cortes em emissões.

<sup>14</sup> A variação em bem-estar é medida através do conceito de variação equivalente Hicksiana.

as regiões EUA, EU, Brasil e América Latina (A.L).<sup>15</sup> A Tabela 3 apresenta os resultados sobre o PIB.

Tabela 2

Mudanças (%) em bem-estar no cenário de política em relação ao cenário de referência, sob hipóteses alternativas quanto à disponibilidade de biocombustíveis avançados

| Ano  | <i>Sem biocombustíveis</i> |       |       |       | <i>Com biocombustíveis</i> |       |       |       |
|------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|
|      | 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 | -0,1  | -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 | -3,2  | -1,24 |
| 2045 | -2,54                      | -1,73 | -0,14 | -0,94 | -1,56                      | -1,05 | -5,6  | -2,15 |
| 2050 | -3,33                      | -2,55 | -0,1  | -1,11 | -1,91                      | -1,36 | -6,72 | -3,27 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 3

Variacão (%) no PIB no cenário de política em relação ao cenário de referência, sob hipóteses alternativas quanto à disponibilidade de biocombustíveis avançados

| Ano  | <i>Sem biocombustíveis</i> |       |       |       | <i>Com biocombustíveis</i> |       |       |       |
|------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|
|      | EUA                        | U.E.  | BRA   | A.L.  | EUA                        | U.E.  | BRA   | A.L.  |
| 2015 | -0,14                      | 0,00  | 0,01  | -0,04 | -0,14                      | 0     | 0,01  | -0,04 |
| 2020 | -0,4                       | -0,18 | 0,01  | -0,12 | -0,4                       | -0,18 | 0,01  | -0,12 |
| 2025 | -0,77                      | -0,47 | -0,01 | -0,23 | -0,71                      | -0,46 | 0,42  | -0,26 |
| 2030 | -1,3                       | -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                      | -0,9  | -0,7  | -0,56 |
| 2040 | -2,66                      | -1,88 | -0,09 | -0,66 | -1,46                      | -1,1  | -2,25 | -1,04 |
| 2045 | -3,33                      | -2,72 | -0,06 | -0,84 | -1,76                      | -1,35 | -4,3  | -1,87 |
| 2050 | -4,23                      | -3,74 | -0,02 | -1    | -2,09                      | -1,58 | -5,25 | -2,85 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

<sup>15</sup> Escolheu-se apresentar os resultados para a região América Latina do modelo EPPA (que exclui o Brasil e o México) de forma a permitir uma comparação com os resultados para o Brasil, evidenciando os possíveis ganhos e perdas relativos que as políticas nos países desenvolvidos podem trazer para países em desenvolvimento.

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 permite que a aplicação da política climática em seus territórios traga menores custos. Por outro lado, os potenciais produtores de biocombustível de segunda geração, entre eles o Brasil, perdem em PIB e bem-estar quando esta tecnologia é considerada no modelo.

Os países prejudicados com o comércio de biocombustível no longo prazo 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 movimentava suas economias (resultados não apresentados aqui). Todas as outras regiões consideradas 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.<sup>16</sup>

Vale notar que os resultados de mudanças em PIB e em bem-estar para o Brasil na ausência de biocombustíveis são de leves perdas, inferiores às observadas para a América Latina. Esses resultados sugerem que o país seria muito pouco afetado pelas políticas climáticas dos EUA e da UE. As perdas estariam relacionadas a um “efeito renda” negativo proveniente da queda, do comércio brasileiro com as economias americana e europeia. 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 do que o 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 no restante da América Latina (excluindo-se o México).

O resultado negativo no caso da existência e comércio dos biocombustíveis de segunda geração pode ser entendido a partir da análise das variações na produção setorial e de energia no Brasil. A Tabela 4 apresenta as variações no valor da produção dos setores brasileiros no cenário de política em relação ao cenário de referência. Os resultados apontam para pequenas mudanças percentuais, geralmente positivas, na maioria dos setores, na ausência do biocombustível avançado.

---

<sup>16</sup> A forte queda em PIB no Brasil na versão do modelo com biocombustíveis de segunda geração representa uma redução na taxa anual de crescimento do país. Enquanto no cenário de referência o crescimento é de cerca de 3,03% ao ano entre 2010 e 2050, no cenário de política ela é de apenas 2,89%. Ou seja, o modelo não projeta efeitos de recessão ou depressão econômica no Brasil no cenário de políticas climáticas nos EUA e na UE, mas sim um ritmo de crescimento menor do que o potencialmente indicado no cenário de referência. Ainda assim, pode-se supor que o governo brasileiro buscaria adotar políticas ativas para reverter ou reduzir esse efeito negativo sobre o crescimento. Como exemplo, observa-se a discussão atual sobre a criação de um fundo soberano no caso da exploração das reservas do pré-sal. No presente trabalho não se considera uma resposta endógena da política econômica para evitar a queda na taxa de crescimento da economia, uma vez que instrumentos de políticas são geralmente exogenamente determinados em modelos de equilíbrio geral.

Tabela 4

Varição (%) no valor da produção setorial brasileira no cenário de política em relação ao cenário de referência, sob hipóteses alternativas quanto à disponibilidade de biocombustíveis avançados (bio)

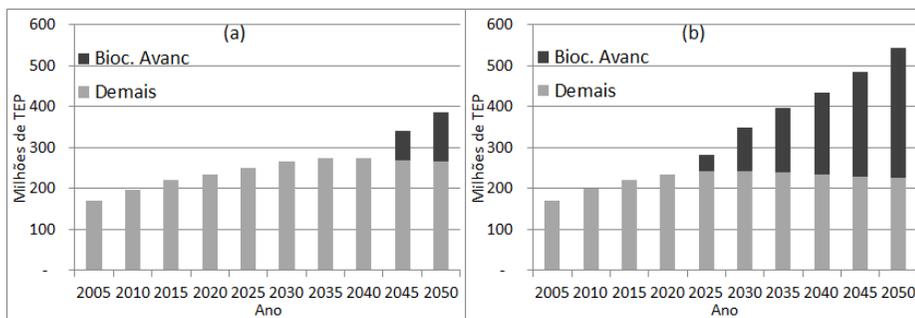
|      | Culturas           |         | Pecuária            |         | Silvicultura |         | Alimentos   |         |
|------|--------------------|---------|---------------------|---------|--------------|---------|-------------|---------|
|      | Sem bio            | Com bio | Sem bio             | Com bio | Sem bio      | Com bio | Sem bio     | Com bio |
| 2015 | 0,2                | 0,2     | 0,1                 | 0,1     | -0,2         | -0,2    | 0,0         | 0,0     |
| 2020 | 0,4                | 0,4     | 0,2                 | 0,2     | -0,3         | -0,3    | 0,0         | 0,0     |
| 2025 | 0,5                | -4,3    | 0,2                 | -3      | -0,3         | -10,8   | 0,0         | -3,0    |
| 2030 | 0,7                | -11,5   | 0,2                 | -8,2    | -0,3         | -18,6   | 0,0         | -7,9    |
| 2035 | 0,8                | -17,4   | 0,2                 | -12,5   | -0,4         | -19,7   | -0,2        | -12     |
| 2040 | 1,1                | -22,2   | 0,3                 | -16     | -0,4         | -21,2   | -0,2        | -15,6   |
| 2045 | 1,5                | -22,4   | 0,4                 | -16,4   | -0,2         | -19,8   | -0,2        | -16     |
| 2050 | 2,1                | -24,2   | 0,6                 | -17,6   | -0,2         | -20,7   | -0,1        | -17,2   |
|      | Prod. Int. Energia |         | Outr. Prod. Indust. |         | Serviços     |         | Transportes |         |
|      | Sem bio            | Com bio | Sem bio             | Com bio | Sem bio      | Com bio | Sem bio     | Com bio |
| 2015 | 0,2                | 0,2     | 0,0                 | 0,0     | 0,0          | 0,0     | 0,3         | 0,3     |
| 2020 | 0,6                | 0,6     | -0,1                | -0,1    | 0,0          | 0,0     | 0,9         | 0,9     |
| 2025 | 1,1                | -3,3    | -0,2                | -2,0    | 0,0          | -0,9    | 1,7         | -0,1    |
| 2030 | 1,4                | -10     | -0,3                | -5,7    | -0,1         | -2,7    | 2,7         | -2,2    |
| 2035 | 1,1                | -15,2   | -0,5                | -9,6    | -0,2         | -4,5    | 3,2         | -4,3    |
| 2040 | 2                  | -19,3   | -0,6                | -13,4   | -0,3         | -6,2    | 4,2         | -6      |
| 2045 | 2,2                | -19,7   | -0,7                | -15,5   | -0,4         | -6,9    | 5,2         | -6,6    |
| 2050 | 2,5                | -21,2   | -0,8                | -17,2   | -0,4         | -7,6    | 6,2         | -7,4    |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Contudo, quando se considera a existência desse biocombustível e seu livre comércio, a produção brasileira em todos os setores é afetada negativamente a partir de 2025, com quedas de até 24% no valor da produção no final do horizonte considerado. Isso indica que a produção em larga escala de biocombustível de segunda geração se apresenta como uma armadilha para a economia do país, desviando recursos produtivos de outras atividades em direção à produção e exportação desse substituto do petróleo, agora essencial para que os países desenvolvidos consigam atingir suas metas de reduções em emissões.<sup>17</sup>

A Figura 3 evidencia a grande expansão da produção do biocombustível de segunda geração no Brasil nos cenários em que essa tecnologia é considerada. No cenário de políticas climáticas nos países em desenvolvimento, a produção do biocombustível inicia-se em 2025 e se torna maior que a produção de energia pelas demais fontes energéticas até 2050. É importante frisar que o modelo prevê que toda a produção brasileira desse produto é exportada para os EUA e UE. Essa forte expansão do combustível renovável só é possível com o emprego maciço de trabalho, capital e uso de grandes extensões de terra. Como a taxa de formação de capital bruto, de aumento na oferta de mão-de-obra (via aumento da produtividade do trabalho e do crescimento populacional), e de expansão da fronteira agrícola são menores que a velocidade de expansão do biocombustível avançado no cenário de política, todos os demais setores da economia acabam cedendo esses recursos produtivos para a expansão do biocombustível. Isso explica a acentuada queda generalizada na produção dos diversos setores brasileiros.

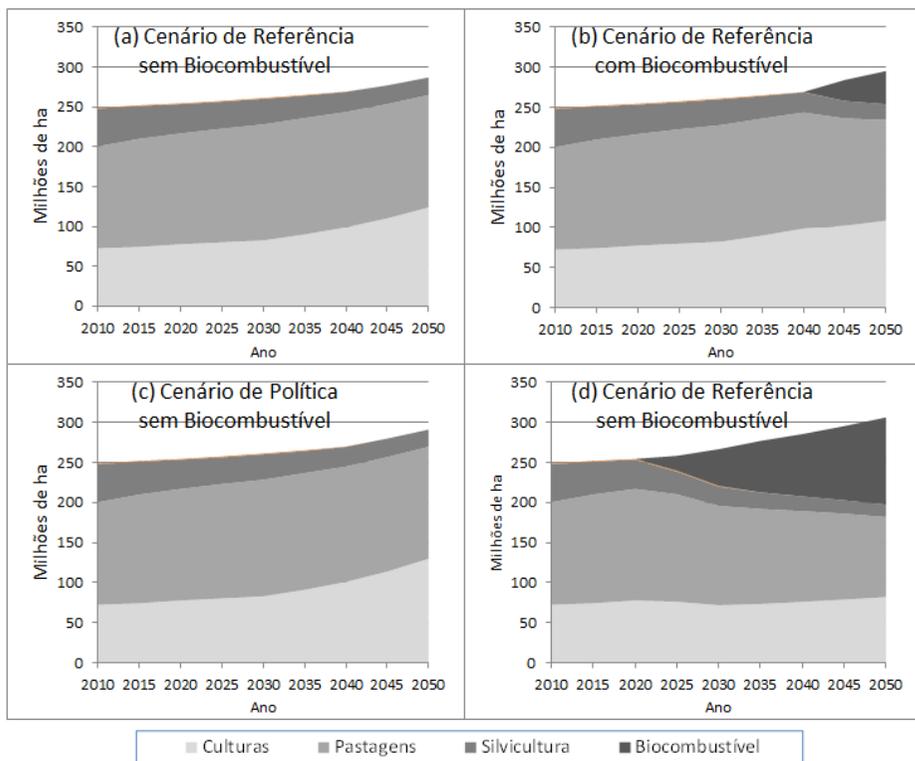
Fig. 3. Produção primária de energia de biocombustível avançado e das demais fontes no Brasil, em milhões de toneladas de equivalente de petróleo (TEP) nos cenários de referência (a) e de políticas climáticas nos EUA e UE (b) sob a hipótese de produção e comercialização de biocombustíveis



<sup>17</sup> O setor de biocombustível de segunda geração não é apresentado na Tabela 4, por possuir produção nula no cenário de referência entre os anos de 2020 a 2040, o que geraria variações percentuais infinitas nesses anos. Os aumentos em produção deste setor em 2045 e 2050 são de 252% e 163%, respectivamente, em relação à produção no cenário de referência. As Figuras 3 e 4 revelam a magnitude do crescimento desse setor pelas análises de produção de energia primária e de uso da terra.

A Figura 4 ilustra esse processo de competição por fatores primários no caso do fator terra, através das mudanças no uso do solo no Brasil para os diferentes cenários simulados. Observa-se no cenário de referência com a opção de produção e comercialização do biocombustível (painel b) que, nos últimos períodos do modelo, o uso da terra, antes direcionado para outras atividades agropecuárias, é transferido para a produção de biomassa para combustível. Isso se intensifica bastante quando os países desenvolvidos implementam políticas de mitigação (painel d). Na hipótese de não possibilidade de produção e comércio do biocombustível, o uso da terra praticamente não se altera no cenário de política (painel c) em relação ao cenário de referência (painel a), sendo a mudança mais relevante relacionada à expansão da área agrícola total ao longo do tempo, o que evidencia o processo de avanço sobre áreas de vegetação natural, como cerrados e florestas, à medida que aumenta a população e a demanda por alimentos e matéria-prima agrícola.

Fig. 4. Distribuição do uso da terra no Brasil nos cenários de referência e de política, sem e com a presença de biocombustível de segunda geração



O resultado de forte expansão da produção e exportação de biocombustível avançado pelo Brasil é o previsto na tradicional Teoria da Proporção dos Fatores (ou Teoria de Hecksher-Ohlin), 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 baseados em vantagens comparativas oriundas da dotação de fatores, mostrando que um país deve produzir e exportar bens que utilizam mais intensivamente o fator relativamente mais abundante em relação a outros países. O Brasil, sendo relativamente abundante em terra e condições climáticas favoráveis à agricultura, produz e vende em larga escala o biocombustível quando o seu custo de produção passa a ser competitivo com o uso dos derivados de petróleo nos países desenvolvidos que aplicam a política climática.

É importante frisar outro mecanismo do modelo contribuinte para resultados obtidos para o Brasil. O fechamento macroeconômico do modelo considera o saldo do balanço de pagamentos como exógeno, o que permite representar uma taxa flutuante de câmbio real.<sup>18</sup> Isso significa que, se um país aumentar o valor das suas exportações, a taxa de câmbio real sofre valorização e as importações também devem crescer. No contexto aqui discutido, a grande expansão da produção e exportação dos biocombustíveis pelo Brasil é acompanhada do aumento nas importações dos demais produtos, o que contribui para a queda na produção observada na Tabela 4.<sup>19</sup>

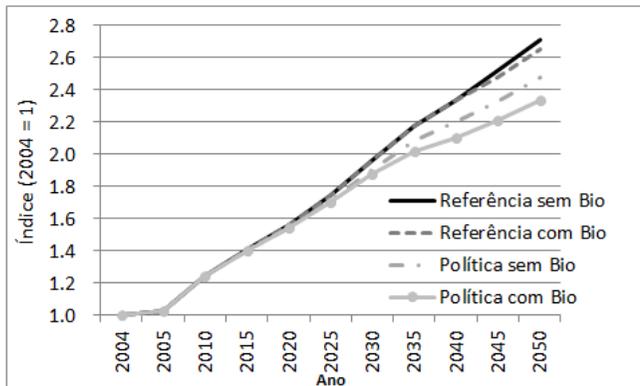
O sucesso no desenvolvimento do biocombustível de segunda geração, bem como a possibilidade de comércio livre do mesmo, traz alguns benefícios para a economia mundial. A Figura 5 apresenta o comportamento do preço mundial do petróleo sob os diferentes cenários. Na possibilidade de produção e comercialização internacional do biocombustível de segunda geração, essa fonte alternativa restringe o aumento contínuo no preço do petróleo. Mas não sendo possível o desenvolvimento da indústria de biocombustíveis, o preço do petróleo é maior devido à falta de um substituto para o mesmo no setor de transporte. Vale notar que a aplicação de políticas climáticas nos EUA e na UE afeta negativamente o preço mundial do petróleo, por conta da queda na demanda naqueles países.

Quanto ao efeito que a disponibilidade dos biocombustíveis de segunda geração tem sobre as emissões de gases de efeito estufa, a Tabela 5 permite observar que as emissões, em milhões de toneladas métricas (mtm), são mais pronunciadas quando esta fonte de energia não é considerada no modelo. É necessário observar que o papel dos biocombustíveis de segunda geração, embora pareça pouco expressivo, tem 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

<sup>18</sup> Como o regime cambial brasileiro tem sido flutuante desde a década passada, acredita-se que esse fechamento macroeconômico seja mais adequado.

<sup>19</sup> A importância relativa dos efeitos de valorização cambial e de redistribuição dos fatores produtivos em direção ao setor de biocombustíveis sobre as mudanças em PIB e bem-estar é de difícil decomposição. Contudo, alguns resultados indicam que ambos efeitos são consideráveis e importantes para os resultados encontrados no modelo com disponibilidade de biocombustíveis de 2ª geração: a apreciação da taxa de câmbio real varia de 8,3% em 2025 a 57,3% em 2050 no cenário de política em relação à taxa de câmbio no cenário de referência; o setor de biocombustíveis absorve 3% da renda do capital, 1% dos salários e 12% da renda da terra em 2025 no cenário de política, e atinge o uso de 13% da renda do capital, 4% dos salários e 21% da renda da terra em 2050.

Fig. 5. Índice de preço do petróleo



na presença dos biocombustíveis, esses países passam a consumir mais petróleo e a emitir mais, ocorrendo vazamentos (*leakage*) em emissões, 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 deveria gerar emissões mundiais consideravelmente menores do que na ausência dessa hipótese.

Deve-se destacar um aspecto da estratégia de modelagem dos biocombustíveis de segunda geração que influencia os resultados. A consideração dessa fonte de energia como um substituto perfeito para o petróleo refinado e de livre comercialização mundial sugere uma crescente especialização brasileira na produção e exportação do mesmo, tratado como *commodity*. Contudo, excetuando o petróleo cru, os demais bens são modelados como substitutos imperfeitos internacionalmente (bens de Armington) no modelo EPPA, e como tal, sofrem rigidez nas possibilidades de substituição entre diferentes parceiros e entre importados e domésticos e, conseqüentemente, experimentam maiores aumentos em preços do que o biocombustível.<sup>20</sup> Isso se reflete nos resultados do modelo em forma de crescente perda nos termos de troca para os países exportadores de biocombustíveis, o que contribui para a queda no bem-estar e no PIB. Dessa maneira, a forte expansão dos biocombustíveis no presente estudo pode ser considerada como um cenário extremo de máxima expansão, dadas todas as condições favoráveis aqui consideradas, como de livre comércio e bem homogêneo nos mercados internacionais.

<sup>20</sup> É importante destacar que a modelagem do biocombustível de segunda geração como um substituto perfeito ser faz necessária por ser uma tecnologia *backstop* no modelo EPPA, ou seja, que está disponível no período base do modelo, mas que não é competitiva, e portanto, possui produção nula. Como essa produção é nula, não existe comércio internacional da mesma nos primeiros períodos. Para modelar um bem de substituição imperfeita no comércio mundial (bem Armington) é necessário existir algum comércio do mesmo no ano base. Pretende-se desenvolver avanços futuros no modelo através da representação da produção corrente dos biocombustíveis de primeira geração (etanol da cana-de-açúcar e do milho, biodiesel de fontes vegetais diversas) e dos seus fluxos comerciais como bens de Armington, para então considerar o biocombustível de segunda geração como um substituto da primeira geração.

Tabela 5

Volume total mundial de emissões de GEE (em mtm) nos cenários simulado

|      | Referência, sem<br>biocombustível | Referência, com<br>biocombustível | Política, sem<br>biocombustível | Política, com<br>biocombustível |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 2004 | 39644                             | 39644                             | 39644                           | 39644                           |
| 2005 | 40476                             | 40476                             | 40476                           | 40476                           |
| 2010 | 46301                             | 46301                             | 46301                           | 46301                           |
| 2015 | 51743                             | 51743                             | 50734                           | 50734                           |
| 2020 | 57147                             | 57147                             | 55139                           | 55139                           |
| 2025 | 63012                             | 63012                             | 60090                           | 60089                           |
| 2030 | 68718                             | 68718                             | 64837                           | 64825                           |
| 2035 | 75044                             | 75044                             | 70147                           | 70087                           |
| 2040 | 79838                             | 79838                             | 73929                           | 73776                           |
| 2045 | 84957                             | 84791                             | 78017                           | 77674                           |
| 2050 | 90247                             | 89994                             | 82208                           | 81683                           |

## 6. Conclusões

O presente trabalho investigou os possíveis impactos de políticas climáticas em discussão nos EUA e na UE sobre a economia brasileira. Para tal, fez-se uso de um modelo de equilíbrio geral multirregional, multissetorial, dinâmico recursivo, construído para o estudo de políticas climáticas e trajetórias futuras de emissões de gases de efeito estufa, conhecido como modelo EPPA.

Os resultados apontam que o país deve ser pouco afetado em termos de bem-estar e crescimento econômico pelas políticas climáticas dos países desenvolvidos. Contudo, esse resultado muda completamente quando se considera um possível desenvolvimento em larga escala da tecnologia futura de produção de biocombustíveis de segunda geração, considerando que essa tecnologia seja um substituto perfeito ao uso do petróleo no setor de transporte, seja completamente livre de emissões de gases de efeito estufa e que barreiras comerciais, hoje observadas na comercialização dos mesmos, sejam completamente banidas no futuro. Diante da presença dessa tecnologia, o Brasil se torna o principal fornecedor mundial desta *commodity* para os países que adotarem políticas climáticas, o que representa uma forte especialização, capaz de drenar fatores primários de produção dos demais setores da economia. Uma vez que o biocombustível é considerado no modelo como um bem homogêneo e os demais bens são formulados seguindo a pressuposição de substituição imperfeita do mercado mundial, ocorre uma deterioração nos termos de troca à medida que a produção de biocombustíveis aumenta. Os efeitos combinados dessa deterioração e da realocação de recursos

para a produção do biocombustível no Brasil afetam negativamente o PIB e o bem-estar no país, enquanto os países que aplicam as políticas climáticas sofrem perdas menores pela opção do combustível limpo no setor de transportes.

Os resultados negativos para a economia brasileira quando da produção em larga escala do biocombustível avançado levantam preocupações quanto à possível especialização nessa *commodity*, apesar de divergirem de trabalhos recentes sobre os potenciais ganhos para a economia brasileira diante de um aumento na produção de etanol de cana-de-açúcar. Contudo, deve-se observar que os resultados aqui obtidos são fortemente determinados por alguns aspectos da modelagem, como o livre comércio de biocombustíveis no futuro e a consideração de substituição perfeita ao petróleo refinado. Isso sugere que são necessários maiores estudos que considerem a possibilidade de substituição imperfeita no comércio mundial de biocombustíveis celulósicos, bem como a de liberalização parcial de comércio desse bem.

De qualquer forma, os resultados indicam que é preciso considerar com cuidado se a especialização brasileira na produção de biocombustível não significará uma perpetuação do padrão de exportações de produtos de menor valor agregado e pouco dinamismo no comércio internacional. Ou seja, aproveitar as vantagens comparativas naturais não deve significar negligência com relação ao desenvolvimento de vantagens em setores de maior dinamismo nos mercados mundiais. Por outro lado, não é preciso descartar o potencial de supridor internacional de biocombustíveis, mas sim, permitir o desenvolvimento desse potencial sem comprometer o crescimento equilibrado da economia brasileira no longo prazo.

## Referências bibliográficas

- Adkins, L., Garbaccio, R., Mun, H., Moore, E., & Morgenstern, R. (2011). Trade effects and emissions leakage associated with carbon pricing policies. In *14th Annual Conference on Global Economic Analysis*, Venice, Italy.
- Babiker, M. H. & Eckaus, R. S. (2000). Rethinking the Kyoto emissions targets. Joint Program on the Science and Policy of Global Change 65, MIT, Cambridge.
- Babiker, M. H. & Jacoby, H. D. (1999). Developing country effects of Kyoto-type emissions restrictions. Joint Program on the Science and Policy of Global Change 53, MIT, Cambridge.
- Babiker, M. H. & Rutherford, T. F. (2005). The economic effects of border measures in subglobal climate agreement. *The Energy Journal*, 26:99–126.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., & Raman, R. (1998). GAMS: A user's guide. Technical report, GAMS Development Corporation, Washington, DC. Disponível em: <http://www.gams.com>. Acesso em: 8 maio 2009.
- California Environmental Protection Agency (2006). Assembly bill no. 32. Disponível em: [http://www.leginfo.ca.gov/pub/05-06/bill/asm/ab\\_0001-0050/ab\\_32\\_bill\\_20060927\\_chaptered.pdf](http://www.leginfo.ca.gov/pub/05-06/bill/asm/ab_0001-0050/ab_32_bill_20060927_chaptered.pdf). Acesso em: 5 de fevereiro de 2011.
- Caron, J. (2011). Estimating carbon leakage and the efficiency of border adjustments in general equilibrium – Does sectoral aggregation matter? In *14th Annual Conference on Global Economic Analysis*, Venice, Italy.

- Diaz, M. D. C. & Schwartzman, S. (2005). Carbon offsets and land use in the Brazilian Amazon. In Moutinho, P. & Schwartzman, S., editors, *Tropical Deforestation and Climate Change*. Environmental Defense Fund, Washington, DC.
- Diniz, E. M. (2007). Lessons from the Kyoto protocol. *Ambiente & Sociedade*, 10:27–38.
- Ferreira Filho, J. B. S. & Rocha, M. T. (2007). Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In *Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, Londrina.
- Fischer, C. & Boehringer, C. (2010). The global effects of subglobal climate policies, proceedings. In *World Congress of Environmental and Resource Economists*, Montreal.
- Gurgel, A. C. (2011). Impacto da política americana de estímulo aos biocombustíveis sobre a produção agropecuária e o uso da terra. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 49:181–124.
- Gurgel, A. C., Reilly, J. M., & Paltsev, S. (2007). Potential land use implications of a global biofuels industry. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 5.
- Hansen, J. (2003). Can we defuse the global warming time bomb? Technical report, NASA Goddard Institute for Space Studies, New York. Disponível em: [http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2003/2003\\_Hansen.pdf](http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2003/2003_Hansen.pdf). Acesso em: 23 abr. 2010.
- Hassol, S. J. (2004). ACIA – Artic Climatic Impact Assessment. Impacts of a Warming Artic. Technical report, Cambridge University Press, Cambridge. Disponível em: <http://www.acia.uaf.edu/pages/overview.html>. Acesso em: 21 set. 2010.
- Ismer, R. & Neuhoﬀ, K. (2007). Border tax adjustment: A feasible way to support stringent emission trading. *European Journal of Law and Economics*, 24:137–164.
- Jacoby, H. D., Babiker, M. H., Paltsev, S., & Reilly, J. M. (2008). Sharing the burden of GHG reductions. Joint Program on the Science and Policy of Global Change 167, MIT, Cambridge.
- Jorgenson, D. W., Goettle, R. J., Wilcoxon, P. J., & Sing, H. O. M. (2008). The economic costs of a market-based climate policy. White paper, The Pew Center on Global Climate Change, Arlington.
- Kasahara, S., Paltsev, S., Reilly, J., Jacoby, H. D., & Ellerman, A. D. (2007). Climate change taxes and energy efficiency in Japan. *Environmental and Resource Economics*, 37:377–410.
- Lopes, R. L. (2003). *Efeitos de uma restrição na emissão de CO<sub>2</sub> na economia brasileira*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- Manne, A., Mendelsohn, R., & Richels, R. (1995). Merge: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*, 23:17–34.
- Melillo, J. M., Reilly, J. M., Kicklighter, D. W., Gurgel, A. C., Cronin, T. W., Paltsev, S., Felzer, B. S., Wang, X., Sokolov, A. P., & Schlosser, C. A. (2009). Indirect emissions from biofuels: How important? *Science*, 326:1397–1399.
- Metcalf, G. E., Paltsev, S., Reilly, J., Jacoby, H. D., & Holak, J. (2008). Analysis of U.S. greenhouse gas tax proposals. Joint Program on the Science and Policy of Global Change 160, MIT, Cambridge.
- Moreira, H. M. & Giometti, A. B. (2008). 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*, 30:9–47.
- Narayanan, B. G. & Walmsley, T. G. (2008). Global trade, assistance, and production: The GTAP 7 data base. Technical report, Center for Global Trade Analysis, Purdue

- University, West Lafayette.
- Olivier, J. G. J. & Berdowski, J. J. M. (2001). Global emissions sources and sinks. In Berdowski, J., Guicherit, R., & Heij, B. J., editors, *The Climate System*, pages 33–78. Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse.
- Organização das Nações Unidas – ONU (2010). The Outcomes of Copenhagen – The Negotiations and the Accord. UNDP Environment & Energy Group Climate Policy Series.
- Paltsev, S., Reilly, J., Jacoby, H. D., Eckaus, R. S., Mcfarland, J., & Sarofim, M. (2005). The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model. Joint Program on the Science and Policy of Global Change Version 4, n. 125, MIT, Cambridge.
- Paltsev, S., Reilly, J., Jacoby, H. D., Gurgel, A. C., Metcalf, G. E., & Sokolov, A. P. (2008). Assessment of U.S. GHG cap-and-trade proposals. *Climate Policy*, 8:395–420.
- Paltsev, S., Reilly, J., Jacoby, H. D., & Morris, J. F. (2009). The cost of climate policy in the United States. Joint Program on the Science and Policy of Global Change 173, MIT, Cambridge.
- Popp, D. (2004). ENTICE: Endogenous backstop technology in the DICE model of global warming. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48:742–768.
- Porto Jr., S. S. & Feijó, F. F. (2009). Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil – Uma análise utilizando equilíbrio geral computável. *Análise Econômica*, 127:127–154.
- Regional Greenhose Gas Initiative (2012). Disponível em: <http://www.rggi.org/home>. Acesso em 5 de fevereiro de 2011.
- Reilly, J. & Paltsev, S. (2009). Biomass energy and competition for land. In Hertel, T., Rose, S., & Tol, R., editors, *Economic Analysis of Land Use in Global Climate Change Policy*, pages 184–207. Routledge, UK.
- Reinaud, J. (2004). Industrial competitiveness under the European Union Emissions trading scheme. Information paper, International Energy Agency. Disponível em: [http://194.245.121.74/fileadmin/gruppen/bdz/Themen/Umwelt/IEA-Studie\\_11-2004.pdf](http://194.245.121.74/fileadmin/gruppen/bdz/Themen/Umwelt/IEA-Studie_11-2004.pdf). Acesso em: 4 mar.
- Rocha, M. T. (2003). Aquecimento global e o mercado de carbono: Uma aplicação do modelo CERT. Master's thesis, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- Seroa da Motta, R. (2011). Barreiras comerciais nas políticas de regulação de gases de efeito estufa. In Seroa da Motta, R., Hargrave, J., Luedemann, G., & Gutierrez, M. B. S., editors, *Mudança do Clima no Brasil: Aspectos Econômicos, Sociais e Regulatórios*, pages 211–232. IPEA, Brasília.
- Smith, J. B., Schneider, S. H., Oppenheimer, M., Yohe, G. H., Haref, W., & Mastrandre, M. D. (2008). Assessing dangerous climate change through an update of intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) “reasons for concern”. In PNAS, editor, *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*.
- Tian, T. & Whalley, J. (2010). Trade sanctions, financial transfers and BRIC's participation in global climate change negotiations. *Journal of Policy Modeling*, 32:47–63.
- US Congress (2009). The American Clean Energy and Security Act of 2009 (H.R. 2454). US House of Representative, Washington, D.C., 2009. Disponível em [http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=111\\_cong\\_bills&docid=f:h2454pcs.txt.pdf](http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=111_cong_bills&docid=f:h2454pcs.txt.pdf). Acesso em 25 abr. 2011.

- Viola, E. (2004). Brazil in the context of global governance politics and climate change, 1989-2003. *Ambiente & Sociedade*, 7:27-46.
- Western Climate Initiative (2012). Disponível em: <http://www.westernclimateinitiative.org/>. Acesso em 5 de fevereiro de 2011.
- Winchester, N., Paltsev, S., & Reilly, J. (2011). Will border carbon adjustments work? *The B. E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 11.