

BRASIL, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ECONOMIA: O QUE HÁ ESTABELECIDO?

Gustavo Inácio de Moraes*

Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho**

Este artigo tem por objetivo realizar um levantamento sobre os principais trabalhos que apontam os impactos econômicos das mudanças climáticas no território brasileiro. Dessa forma, discutem-se as opções metodológicas utilizadas na pesquisa sobre o tema, bem como as principais abordagens relacionadas. É possível perceber que, apesar de uma considerável literatura sobre o tema, ainda há importantes indefinições no mapeamento dos efeitos econômicos das mudanças climáticas, não apenas pela incerteza associada, mas também pelos resultados distintos apresentados quando se opta por metodologias alternativas. Ainda assim, é possível concluir que, para o Brasil, políticas de mitigação são superiores, em termos econômicos, às perspectivas de vulnerabilidade e/ou adaptação. Informações mais consistentes, contudo, ainda são necessárias para que a sociedade possa planejar suas linhas de ação.

Palavras-chave: mudança climática; impactos econômicos; Brasil.

BRAZIL, CLIMATE CHANGE AND ECONOMY: WHAT IS ESTABLISHED?

This paper aims to conduct a survey review that shows the economic impacts of climate change on the Brazilian Territory. The paper, therefore, discusses the methodological options and the main approaches related to the issue of economic impacts of climate change. A perception that emerges is that despite a significant literature on the theme, there are still important uncertainties on the effects of climate change impacts on Brazil, both due to the natural aspects of the issue and also regarding different methodological approaches. Still, one can conclude that, for Brazil, mitigation policies are superior in economic terms than the prospects of vulnerability and/or adaptation. More information, however, is still necessary for society to plan their lines of actions in response to the problem.

Keywords: climate change; economic impacts; Brazil.

BRASIL, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA ECONOMÍA: LO QUE ESTÁ ESTABLECIDO?

Este trabajo pretende realizar un estudio de la literatura que demuestran los impactos económicos del cambio climático en el territorio brasileño. Su contenido, por lo tanto, es para discutir las opciones metodológicas empegadas en el tema de la investigación y los principales enfoques relacionados con el tema. Se puede ver que, a pesar de una considerable literatura sobre el tema, todavía hay grandes incertidumbres en los esbozos de los efectos económicos del cambio climático, no sólo por la inseguridad, sino también para los diferentes resultados presentados al optar por metodologías alternativas. Sin embargo, se puede concluir que, para Brasil, las políticas

* Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE/PUC-RS) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. E-mail: gustavo.moraes@pucrs.br.

** Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (PPGEA/ESALQ/USP). E-mail: jbsferre@usp.br.

de mitigación son superiores en términos económicos ante las perspectivas de vulnerabilidad y/o adaptación. Un conjunto de datos consistentes, sin embargo, es necesario para que la sociedad planificar sus cursos de acción.

Palavras clave: cambio climático; impacto económico; Brasil.

BRÉSIL, CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ECONOMIE: QU'Y A-T-IL D'ETABLI?

Ce document vise à procéder à un examen qui montre les impacts économiques du changement climatique sur le territoire brésilien. Le papier, donc, examine les options méthodologiques et les principales approches relatives à la question des impacts économiques du changement climatique. Une perception qui se dégage est que, malgré une littérature importante sur le thème, des incertitudes importantes persistent sur les effets des impacts du changement climatique sur le Brésil, à la fois en raison des aspects naturels de la question et aussi sur des approches méthodologiques différentes. Pourtant, on peut conclure que, pour le Brésil, les politiques d'atténuation sont supérieurs en termes économiques que les perspectives de la vulnérabilité et / ou d'adaptation. Plus d'informations, cependant, est encore nécessaire pour la société de planifier leurs lignes d'action en réponse au problème.

Mots-clés: changement climatique; impact économique; Brésil.

JEL: O13; O44; Q54.

1 INTRODUÇÃO

A aceleração do crescimento econômico, desde a revolução industrial, conduziu a humanidade e seu sistema social a um novo patamar de relações. Sob o ponto de vista dos processos produtivos, havia necessidade de uma produção rápida e maciça, o que acarretava o uso de maquinarias como novas ferramentas produtivas. A força do homem ou a do animal não era mais suficiente; necessitava-se, além destas, da força de uma matriz mais poderosa. A capacidade necessária à produção foi encontrada em novas e mais densas fontes energéticas, como o carvão e o petróleo, que foram adotadas em larga escala.

A competição por mercados, entre indústrias e países, não cessou o avanço tecnológico. Assim, paulatinamente, novas técnicas e processos foram adotados: fontes de energia há muito conhecidas, mas cujas propriedades ainda não estavam sendo aplicadas. O sistema capitalista prosperou, em grande medida, em decorrência da competição e do avanço tecnológico.

Contudo, a adoção de novas fontes energéticas e novos processos de produção, ao longo da história, consistiu, regra geral, em usufruir dos benefícios. Externalidades negativas, em reverso, não se faziam claras, ou, ainda que o fossem, havia benefícios tão evidentes e acessíveis que o princípio da precaução foi ignorado. Mais que considerar uma avaliação de custo-benefício, os efeitos ampliaram-se em função da adoção maciça das técnicas propostas.

O World Economic Forum (2007), painel formado por líderes políticos e empresariais, esclarece que a mudança climática é um dos grandes desafios do século XXI, destacando que suas consequências tornariam o comércio e a paz mundiais instáveis e que seu caráter de problema de longo prazo clama pela cooperação entre os diferentes países imediatamente.

Embora ainda haja contestações sobre a causa do aumento das temperaturas no planeta, se natural ou provocada pela ação humana, há uma nítida percepção de que as temperaturas estão se elevando. Nesse sentido, as evidências advindas da paleoclimatologia, por intermédio, por exemplo, de testemunhos de gelo, são as mais fortes, comprovando uma tendência de séculos. Pesquisando a concentração de gases nocivos na atmosfera, pelo depósito destes em geleiras, durante nevascas, ao longo das eras, a paleoclimatologia constata que, desde a revolução industrial, as concentrações destes gases, com interações químicas conhecidas na atmosfera, cresceram abruptamente, configurando-se em uma evidência favorável à ação humana como decisiva (Oldfield, Alverson e Bradley, 2000).

Em face dos diversos estudos e metodologias propostos para o estudo das mudanças climáticas, torna-se necessário organizar e delimitar as correntes metodológicas nas quais estes estudos se baseiam. Ademais, há diversas dimensões de análise, dificultando a análise geral do problema. Em especial, um recorte inicial decompõe as avaliações em efeitos de mitigação, vulnerabilidade e adaptação, o que em última análise permite uma comparação importante para os formuladores de políticas.

Como lembram Dowlatabadi e Morgan (1993), há somente quatro possibilidades de ação frente ao aquecimento global: reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) seria a primeira delas. Outra possibilidade é ser pró-ativo e adaptar-se o quanto antes às mudanças climáticas. Uma terceira linha de ação, menos provável, é experimentar ações para o controle do clima e, finalmente, continuar a pesquisa e aumentar a compreensão a respeito do comportamento do clima e de suas influências. Note-se que não são ações excludentes, mas alocar recursos para uma, significa protelar as demais.

Este artigo, portanto, tem como objetivo realizar uma revisão dos trabalhos sobre impactos econômicos da mudança climática presentes na literatura brasileira sob essas três dimensões: mitigação, vulnerabilidade e adaptação. Para tanto, ele foi dividido em cinco seções. Na segunda seção, os trabalhos que se utilizam de modelos econométricos são discutidos em confronto com os que aplicam modelos de equilíbrio geral, objeto da terceira seção. A quarta seção trata de estudos referentes à mitigação. A última seção apresenta as considerações finais.

2 OPÇÕES METODOLÓGICAS E PRINCIPAIS ESTUDOS NO BRASIL

2.1 Opções metodológicas

Tal como em outras áreas do conhecimento, as opções metodológicas para a avaliação dos impactos ambientais também são originadas de polêmicas na economia. Essencialmente, o problema não se encerra com a escolha do método, também depende, em última instância, dos dados com os quais se escolhe trabalhar.

Os estudos pioneiros em termos mundiais são predominantemente conduzidos por Jorgenson e Wilcoxon (1990) e Nordhaus (1992; 1993; 1994), em que opções de políticas frente ao problema da acumulação de GEEs são estudadas. As opções começam com a completa ausência de medidas, passam por atraso na adoção de medidas inibidoras de emissões e culminam na estabilização das emissões de GEEs, entre outras. É possível, contudo, notar os significativos custos econômicos das opções que visam algum grau de restrição das emissões, sinalizando a necessidade de soluções sociais mais complexas, como a revisão das tecnologias então utilizadas. De um ponto de vista metodológico, há uma preferência pela utilização de modelos de equilíbrio geral para a avaliação dos impactos nos diferentes cenários.

Em trabalho posterior, Darwin *et al.* (1995) optam pelo uso, também, de modelos de equilíbrio geral computável (CGE) para abordar os impactos prováveis na agricultura americana. Especialmente se considerando a heterogeneidade de climas nos Estados Unidos, a conclusão não aponta um resultado geral significativo, embora fique evidente a assimetria de efeitos conforme o clima e o produto estudado.

Um relatório que se pretendia mais completo para abordar impactos econômicos da mudança climática em nível mundial, o *Stern Review on the Economics of Climate Change* (Stern, 2006), demonstra a questão. Sua elaboração, financiada pelo governo britânico, focou em resultados econômicos, sobretudo nos países desenvolvidos, para os diferentes cenários do Painel Intergovernamental para a Mudança Climática (IPCC). A alegação é de que dados referentes aos países em desenvolvimento seriam escassos e de difícil estimação, embora o relatório reconheça que grande parte dos efeitos das mudanças climáticas ocorra justamente nestes países. De outra forma, o relatório adota taxas de desconto que potencializam os efeitos sem que sejam consideradas coerentes para grande parte dos analistas. Finalmente, o estudo desconsidera métodos alternativos, privilegiando métodos econométricos. Seus resultados, sem dúvida, contribuíram para motivar estudos alternativos e, talvez, o que seria mais importante, estudos que pudessem particularizar efeitos regionais e nacionais, com o intuito de aperfeiçoar resultados globais.

A tabela 1 resume os efeitos econômicos estimados no relatório para o planeta. Observe-se que, em primeiro lugar, o relatório cita resultados associados a riscos e impactos denominados “não mercado”, dois itens que, por não serem totalmente mensuráveis em valores monetários, trazem uma grande incerteza. Tal incerteza está refletida na grande variância contida entre o quinto e o 95º percentil em cada um dos casos, mesmo quando apenas são considerados “impactos de mercado”. Ademais, o horizonte de tempo escolhido, o ano 2200, não é muito útil, pois descola dos principais cenários do IPCC que consideram alterações no século XXI e, em paralelo, traz indefinição sobre os usos tecnológicos que serão objetos de evolução ou involução até este horizonte de tempo.

Os resultados do relatório apontam, por fim, para que se priorize a mitigação, mais que se invista em adaptação. Segundo Stern (2006), os custos da primeira estratégia, essencialmente restrições às emissões de GEEs, são menores comparados aos custos de adaptação e convivência com os efeitos das mudanças climáticas.

Desse modo, surgem as críticas. Trainer (2008), por exemplo, aponta uma série de pressupostos heroicos adotados no *Stern Review*, sobretudo na extrapolação das tendências energéticas mundiais. Para o autor, o ponto principal é que, ao contrário do que argumentam o IPCC e o *Stern Review*, o custo para evitar a mudança climática não é desprezível, principalmente nas sociedades com alto padrão de vida. Weyant (2008) concorda com as ideias apresentadas no *Stern Review*, sobretudo aponta a relevância da temática e ressalta a disponibilidade de opções tecnológicas de baixo custo para reduzir as emissões globais. Em paralelo, reconhece o mérito que o documento teve em captar a discussão sobre aquecimento global, mas alerta que, como documento analítico, é falho, uma vez que aponta para uma estratégia de mitigação ampla e imediata, quando há, segundo interpreta, alternativas disponíveis.

Os relatórios técnicos que acompanham o *Stern Review* são ilustrativos da complexidade da escolha dos analistas. A limitação do alcance dos resultados é evidenciada quando, no pós-escrito do relatório técnico, a função de danos é definida como uma razão entre desvios da temperatura normal e um desconto de 2,5. A razão ainda é elevada a um parâmetro que informa se o dano é linear ou crescente. O valor assumido por este parâmetro é fundamental para definir a extensão dos danos e se há uma convexidade fraca ou forte no formato da função exponencial proposta. A medida que irá ponderar a função é a elasticidade da utilidade marginal de consumo, e sua escolha assume um papel central, sendo que as pequenas alterações entre 1 e 1,5 assumiram papel importante.

TABELA 1

Perdas no consumo *per capita* atual a partir de seis cenários de mudança climática e seus impactos econômicos

| Cenário/impacto | | Perdas no consumo <i>per capita</i> presentes para o ano de 2200 (%) | | |
|-----------------|---|--|--------------|---------------|
| Climático | Econômico | Média | 5º percentil | 95º percentil |
| | Impactos de mercado | 2,1 | 0,3 | 5,9 |
| Básico | Impactos de mercado + riscos | 5,0 | 0,6 | 12,3 |
| | Impactos de mercado + riscos + impactos não mercado | 10,9 | 2,2 | 27,4 |
| Alto | Impactos de mercado | 2,5 | 0,3 | 7,5 |
| | Impactos de mercado + riscos | 6,9 | 0,9 | 16,5 |
| | Impactos de mercado + riscos + impactos não mercado | 14,4 | 2,7 | 32,6 |

Fonte: Stern (2006, p. 163).

Outro problema reside no fato de que a taxa de desconto intertemporal a ser escolhida pode alterar substancialmente o resultado. Uma taxa de 0,1 difere, por exemplo, de uma de 0,5; logo após cem anos, a chance de a raça humana sobreviver é de 91%, ao passo que na segunda taxa é de 61%. Portanto, as diferentes combinações que os distintos parâmetros permitem acabam por gerar inúmeros resultados sem, contudo, produzir uma intuição adequada. O *Stern Review*, deste modo, apresenta uma estratégia de modelagem baseada na extrapolação de cenários, segundo a adoção de alguns pressupostos, parâmetros e modelos de crescimento econômico.

Ressalte-se que a modelagem econômica em qualquer campo de análise se defronta, a todo tempo, com dificuldades metodológicas que devem ser superadas. Além de apresentar alguns números, o *Stern Review* convida a todos a repensar a estratégia de modelagem econômica e confrontá-la com as dificuldades de obtenção de informações adicionais que enriqueçam os cenários a serem estudados.

Consideradas tais dificuldades, além da extrapolação do cenário predominantemente utilizado no *Stern Review*, há outras três possibilidades principais, de acordo com Barker, Qureshi e Köhler (2006). A primeira linha refere-se à avaliação de trajetórias ótimas em modelos de crescimento neoclássicos, em que uma função de produção das firmas é confrontada com uma função de utilidade intertemporal dos agentes e/ou de famílias. O problema de maximização, portanto, é sujeito a limites estabelecidos pela restrição orçamentária e pela disponibilidade de recursos. A resolução da equação é considerada à luz de uma trajetória que maximiza o produto intertemporal. Note-se que neste caso a taxa de desconto intertemporal será fundamental, uma vez que estará presente nas funções de produção e utilidade.¹

1. Romer (2006) em seus capítulos 1 e 2 realiza uma discussão dos principais modelos.

Uma segunda linha de trabalhos de avaliação de impactos das mudanças climáticas dedica-se à utilização de modelos econométricos. Estes utilizam séries de informações e obtêm relações estáveis pelo uso de técnicas estatísticas. Estas informações podem ser tratadas por meio de séries de tempo, cortes temporais, painel de dados combinado às duas últimas e até pelo empilhamento de dados de diferentes períodos de tempo. Sua aplicação depende, em última análise, da disponibilidade de dados e, para que os resultados sejam extrapolados, há de se pressupor que os padrões do passado se repetirão.

Uma terceira linha de estudos contempla os modelos CGE. Tais modelos se baseiam na teoria do equilíbrio geral dos mercados, e sua vertente aplicada desenvolve-se a partir dos anos 1950. Em geral, o modelo é construído sobre pressupostos neoclássicos adaptáveis em maior ou menor medida, conforme o caso em estudo. Estabelecendo-se o comportamento dos agentes,² considerando-se uma estrutura de relações observada, construída em equações diversas que pretendem descrever a economia, e aplicando-se o choque proposto, o equilíbrio surge na medida em que o sistema possui restrições – técnicas e institucionais – obedecidas pelo comportamento agregado.

Os modelos CGE calculam, com base em uma situação inicial e após um choque, o vetor de preços que aloca eficientemente os recursos da economia, garantindo equilíbrio em todos os mercados da economia, pelo sistema de equações que descreve o comportamento dos agentes no sistema econômico. Finalmente, ainda é possível variar o horizonte temporal com que se trabalha nesses modelos, em curto e/ou em longo prazo, adotando os pressupostos teóricos correspondentes. Outro desenvolvimento também possível é construir modelos dinâmicos, que permitem perceber como se dá a trajetória das variáveis, entre o início e o fim do período de ajuste, podendo ser de características recursivas³ ou não (Ferreira Filho, 2006).

A tipologia proposta por Barker, Qureshi e Köhler (2006), no entanto, considera outros dois tipos de aplicações: uma em que são utilizados modelos híbridos – ou seja, diferentes combinações das técnicas anteriores – e outra na qual os sistemas energéticos são avaliados. Neste último caso, algumas técnicas de pesquisa operacional ou matemáticas são utilizadas para se avaliar o uso eficiente energético. Portanto, com finalidade econômica, mas utilizando ferramentas matemáticas. De modo que, para avaliar o impacto das mudanças climáticas, as metodologias essencialmente econômicas disponibilizadas são de pelo menos quatro.

2. A partir de um agente econômico típico, conforme a esfera econômica que se avalie – consumo, produção, administração pública etc.

3. O resultado de um período operando com os valores iniciais do período subsequente.

Barker, Qureshi e Köhler (2006) ainda destacam que a opção metodológica pode determinar a intensidade e a tendência dos resultados. Na sua percepção, por exemplo, modelos de equilíbrio geral resultam em variações inferiores às dos modelos macroeconômicos e econométricos.

Um último aspecto referente à metodologia relaciona-se à abrangência dos estudos. Como as mudanças climáticas afetam inúmeras áreas de atuação da humanidade, há que se contemplar as suas dimensões. Usualmente, tem se reconhecido o impacto das mudanças climáticas sobre a agricultura, a saúde – além de doenças, especialmente a mortalidade –, a biodiversidade, os eventos climáticos extremos e os prejuízos materiais e humanos, além da perda de áreas litorâneas, o impacto sobre estoques de peixes e a necessidade de gastos públicos. Os estudos podem abordar um, vários e todos os eixos listados, conforme o grau de interesse e complexidade.

Espera-se, no entanto, de uma boa metodologia que ela seja clara em seus resultados, que se consiga reproduzi-la, se possível, facilmente, e que seus pressupostos e suas limitações sejam colocados de forma transparente. Possivelmente, o *Stern Review* tenha falhado em alguns destes aspectos, especialmente no que se refere a destacar as limitações.

2.2 Estudos no Brasil

Após a publicação do *Stern Review*, a comunidade acadêmica em economia do Brasil ganhou novo ânimo para tentar avaliar os impactos da mudança climática no país. Ressalte-se, no entanto, que, tanto em nível global quanto nacional, se possuíam alguns resultados em face das previsões do IPCC. Em nível mundial, Nordhaus (1992) e Darwin *et al.* (1995) são dois trabalhos pioneiros. O primeiro utiliza-se de um modelo de equilíbrio geral computável em união a um modelo de crescimento neoclássico. O segundo utiliza um modelo de equilíbrio geral computável aplicado à agricultura americana. Em nível nacional, algumas estimativas são anteriores. O quadro 1A informa e resume as características gerais de cada um dos estudos que assumem a mudança climática.

QUADRO 1A

Estudos econômicos sobre mudança climática para o Brasil: efeitos de adaptação e/ou vulnerabilidade

| Referência | Dimensões contempladas | Metodologia | Características |
|-----------------------------|------------------------|-------------------|--|
| Sanghi <i>et al.</i> (1997) | Agricultura | Econométrica | Avalia alterações no valor da terra e da lucratividade |
| Sanghi (1998) | Agricultura | Econométrica | Avalia alterações no valor da terra |
| Mendhelson e Dinar (1999) | Agricultura | Pesquisa de campo | Avalia a adoção de tecnologias no campo |

(Continua)

(Continuação)

| Referência | Dimensões contempladas | Metodologia | Características |
|--|------------------------|-----------------------------|---|
| Chimeli e Souza Filho (2004) | Agricultura | Econométrica | Restritos ao estado do Ceará e à cultura do milho |
| Confalonieri (2007) | Regional e saúde | Indicadores | Destaque para resultados em vulnerabilidade |
| Moraes (2007) | Agricultura | Equilíbrio geral computável | Modelo simples e extremamente agregado |
| Pinto e Assad (2008) | Agricultura | Contábil | Avalia choque de oferta agrícola |
| Confalonieri (2008) | Regional e saúde | Indicadores | Destaque para resultados em vulnerabilidade |
| Domingues, Magalhães e Ruiz (2008) | Agricultura | Equilíbrio geral computável | Restritos aos estados do Nordeste |
| Confalonieri, Marinho e Rodriguez (2009) | Regional e saúde | Indicadores | Destaque para resultados em vulnerabilidade |

Elaboração dos autores.

QUADRO 1B

Estudos econômicos sobre mudança climática para o Brasil: efeitos de adaptação e/ou vulnerabilidade

| Referência | Dimensões contempladas | Metodologia | Características |
|---|---|--|--|
| Dubeux e Margulis (2010) | Agricultura Saúde Eventos extremos Perda de áreas litorâneas | Cenários econométrico, contábil e de equilíbrio geral computável | Avaliação integrada dos efeitos e de diversas metodologias e resultados apresentados por dimensões e no agregado |
| Mota, Gazoni e Góis (2008) | Todas | Discussão teórica | Avaliação geral |
| Feres, Reis e Speranza (2008) | Agricultura | Econométrica | Modelo sobre a lucratividade |
| Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais (Cedeplar) e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) (2008) | Vulnerabilidade de populações | Criação de indicadores | Resultados sobre dimensão da saúde |
| Queiroz e Barbieri (2009) | Vulnerabilidade de populações | Criação de indicadores | Resultados sobre dimensão da saúde e da migração |
| Moraes e Ferreira Filho (2010) | Agricultura | Equilíbrio geral computável | Modelo regionalizado e estático |
| Barbieri <i>et al.</i> (2010) | Vulnerabilidade de populações | | Resultados sobre dimensão da migração, a partir do Nordeste |
| Domingues <i>et al.</i> (2010) | Agricultura | Equilíbrio geral computável | Modelo regionalizado e dinâmico |
| Ferreira Filho e Horridge (2010) | Setorial e regional | Equilíbrio geral computável | Efeitos das migrações internas |
| Motta <i>et al.</i> (2011) | Todas | Discussões sobre econometria e análise custo-benefício | Livro de discussões. Ênfase na regulação e nas possibilidades de medidas prudenciais |

Elaboração dos autores.

No quadro 1B, notam-se algumas particularidades: a primeira, os estudos se concentram nos impactos sobre a agricultura; a segunda, dividem-se entre as metodologias de equilíbrio geral computável e econométricas; a terceira, os estudos que se utilizam dos modelos de crescimento estão ausentes na literatura nacional. Mais adiante, os resultados serão comparados segundo as metodologias utilizadas.

Para explicar a predominância da agricultura sobre as demais dimensões de impacto, a hipótese é que se trata de uma área na qual os efeitos estão sendo bem compreendidos no Brasil em comparação com as demais, além de sua representatividade nas economias nacional e regionais. Isto se deve, sobretudo, ao esforço de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e é consolidado, principalmente, em Pinto e Assad (2008). A pesquisa fornece um panorama claro sobre a compreensão, no presente momento, dos impactos na agricultura em benefício de um esforço de modelagem econômica. Este aspecto demonstra o quanto a pesquisa dos impactos econômicos é multidisciplinar. Somente a partir de cenários consolidados em meteorologia, saúde, agricultura etc., é possível levantar impactos socioeconômicos.

Desse modo, áreas como saúde, mortalidade, eventos extremos, pesca e perda de áreas litorâneas serão cada vez mais incorporadas conforme os cenários se estabeleçam. O esforço de pesquisa nesta direção ocorre, e, mesmo com grande incerteza, alguma estimativa pode ser produzida.

O quadro 2, contudo, apresenta outra linha de trabalhos; nela, as estimativas de impactos econômicos concentram-se não na ocorrência da mudança climática, mas nas políticas que tentam mitigá-la, como a redução das emissões de GEEs. Um exemplo desta linha de trabalhos é o de Lopes (2003). Como se pode perceber, nestes estudos, predominam os trabalhos com equilíbrio geral computável, exceto o trabalho de Rocha (2003), em que se objetiva estimar o tamanho do mercado de carbono no Brasil, sob certos cenários de crescimento. Constitui-se uma importante estratégia de trabalho, pois, com a provável não renovação do Protocolo de Kyoto, a partir de 2012, é incerto o rumo que o mercado de trabalho terá. Assim, reexaminar as condições de captação de projetos e financiamento, sob um panorama em que o agente regulador deixará de existir, é um desafio.

Os trabalhos de Daubermann *et al.* (2011) e Nardy e Gurgel (2011) também se destacam, pois são os únicos a avaliarem como o uso da terra se modifica segundo as políticas de mitigação adotadas. É necessário lembrar, a esta altura, que o uso da terra pode intensificar ou desacelerar a emissão de GEEs. Por sua vez, Hilgemberg (2004) recorre à matriz insumo-produto para mapear os setores da economia brasileira que seriam sensíveis a políticas de restrição de emissões, ao mesmo tempo em que foi possível reconhecer a transmissão para regiões deste impacto. Ainda explorando o uso de matrizes insumo-produto, Carvalho e Perobelli (2009)

avaliam o impacto de emissões para os consumos intermediário e final em quinze setores de atividade econômica, demonstrando, sobretudo, a relação da carga de poluição em setores exportadores. Assim, setores como agricultura, siderurgia, alimentos e bebidas e transportes destacam-se entre os mais afetados na presença de políticas de restrição às emissões.

Desse modo, reconhece-se a hipótese de que certas políticas restritivas a emissões podem, em verdade, estimular um uso inadequado da terra e, assim, gerar um resultado inesperado. Daqui para frente, a integração do uso da terra e as alterações climáticas poderão ser avaliadas em um efeito de retroalimentação, pois a alteração no uso da terra pode reforçar o efeito das mudanças climáticas, sendo que as condições climáticas mais severas podem forçar os agentes a modificar o uso da terra, e/ou isto poderá se dar de forma natural. Este, porém, é ainda um fenômeno em avaliação, e sua incorporação aos modelos econômicos será breve.

O estudo de Guilhoto, Lopes e Mota (2002) simula impactos ambientais decorrentes da trajetória de crescimento econômico da economia brasileira, especialmente em duas dimensões: relação com a emissão de GEEs e impactos sobre os recursos naturais da região Norte. Por sua vez, a intensidade de energia e água por produto e a carga poluidora decrescem em termos relativos, concomitantemente a uma desconcentração industrial em favor das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Em comum, as duas estratégias apresentadas nos quadros 1A, 1B e 2 têm uma expressiva presença de modelos regionalizados. Esta é uma característica importante a ser preservada, pois os perfis econômicos das regiões brasileiras são heterogêneos, bem como, mais ainda, a própria climatologia e a extensão das mudanças climáticas, como conhecidas.

QUADRO 2

Estudos econômicos sobre mudança climática para o Brasil: efeitos de mitigação

| Referência | Dimensões contempladas | Metodologia | Características |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|--|
| Guilhoto, Lopes, Mota (2002) | Desenvolvimento regional | Equilíbrio geral computável | Impactos ambientais regionais |
| Rocha (2003) | Economia em todos os setores Protocolo de Kyoto | Modelo de crescimento | Estimação de oferta e/ou demanda do mercado de carbono |
| Lopes (2003) | Economia em todos os setores | Equilíbrio geral computável | Exercícios de redução na emissão de CO ₂ |
| Tourinho, da Motta e Alves (2003) | Economia em todos os setores | Equilíbrio geral computável | Exercício de incorporação de impostos às emissões |
| Hilgemberg (2004) | Quantificação de emissões de CO ₂ por setores | Matrizes de insumo-produto | Modelo regionalizado |
| Ferreira Filho e Rocha (2007) | Economia em todos os setores | Equilíbrio geral computável | Modelo regionalizado e estático |

(Continua)

(Continuação)

| Referência | Dimensões contempladas | Metodologia | Características |
|---------------------------------|--|-----------------------------|--|
| Feijó e Porto Júnior (2009) | Economia em todos os setores <i>Commodities</i> energéticas | Equilíbrio geral computável | Avaliação de metas do Protocolo de Kyoto |
| Carvalho e Perobelli (2009) | Setorial e exportações | Matriz insumo-produto | Matriz energética e emissões de GEEs |
| Nardy e Gurgel (2011) | Foco na agricultura | Equilíbrio geral computável | Uso da terra a partir do comércio internacional |
| Daubermann <i>et al.</i> (2011) | Foco na agricultura | Equilíbrio geral computável | Uso da terra e emissões de CO ₂ a partir de políticas internacionais |
| Lima e Gurgel (2011) | Foco na agricultura | Equilíbrio geral computável | Políticas climáticas internacionais afetando a economia brasileira |
| França e Gurgel (2011) | Economia em todos os setores | Equilíbrio geral computável | Políticas climáticas internacionais (Europa e Estados Unidos) afetando a economia brasileira |
| Silva e Gurgel (2012) | Economia em todos os setores | Equilíbrio geral computável | Exercício de incorporação de impostos às emissões |

Elaboração dos autores.

3 AVALIAÇÕES ECONÔMICAS E/OU EQUILÍBRIO PARCIAL

As avaliações econômicas, em oposição aos modelos computáveis, são consideradas avaliações de equilíbrio parcial. Nesse sentido, captariam apenas uma porção do problema, e não a complexidade das interações e suas possibilidades de compensação. Esta seria a principal limitação dos modelos econômicos para o caso em análise, em que a complexidade das inter-relações exerce um papel importante e possivelmente decisivo. Porém, a limitação da metodologia não é suficiente para invalidar as tendências apontadas pelos seus resultados.

O primeiro estudo aplicado à realidade brasileira foi construído em Sanghi *et al.* (1997). Nele, utiliza-se um modelo ricardiano para avaliar os impactos da mudança climática na agricultura brasileira. A partir de uma função lucro, as condições climáticas e edáficas se manifestariam via alteração do valor da terra. A opção por dividir o território em oito principais tipos de solos também se destaca na construção do modelo. A partir de amostras obtidas por recorte municipal, dos censos realizados entre 1970 e 1985, e considerando um cenário de aumento da temperatura de 2,5° C e aumento das precipitações pluviométricas em 7%, é possível constatar efeitos no valor da terra entre -2,16% – amostra de 1980 – e -7,4% – amostra de 1975. Ademais, os efeitos regionais são significativamente heterogêneos, mas é possível visualizar que os estados do Centro-Oeste e do Sudeste e ainda os do Tocantins e de Rondônia, observariam as maiores quedas no valor da terra. Ressalte-se que a mesma estratégia de modelagem foi aplicada à agricultura chilena por González e Velasco (2008).

Considerando-se a predominância do setor agropecuário na estrutura econômica de muitos países e a grande alocação de força de trabalho no setor, Mendelsohn e Dinar (1999) examinam a possibilidade de os produtores adaptarem-se. Utilizando dados de pesquisas, na Índia e no Brasil, os autores percebem que, regra geral, os produtores estão aptos a enfrentar as transformações e são reativos a variações no clima, adotando rapidamente medidas paliativas, desde que regras institucionais facilitem o acesso a estas soluções. Entretanto, este não é um cenário crível para a maior parte dos países que dependem da renda agrícola. Na ausência destas medidas, Sanghi (1998) (*apud* Mendelsohn e Dinar, 1999) percebe uma redução na renda de 5% a 11%, no caso de uma elevação da temperatura para o Brasil elevar-se em média 2° C. Se o aumento for de 3,5° C, a renda declinará de 7% a 14%. A metodologia empregada para obter estes resultados é, também, por meio de um modelo ricardiano.

Várias limitações, todavia, têm sido apontadas para o uso desse tipo de modelagem para avaliação do impacto de efeitos da mudança climática. A principal crítica deriva da razão de que tal modelo se utiliza de informação incompleta relativa à qualidade do solo da propriedade; ou seja, suas características particulares. Outra limitação apontada seria o fato de os modelos ricardianos não considerarem variações de preços; logo, ignoram alterações no excedente do consumidor e, conseqüentemente, tendem a superestimar resultados benéficos e sobre-estimar efeitos danosos (FAO, 2000).

Em paralelo, Chimeli e Souza Filho (2004) destacam a importância de integrar análises climáticas e econômicas para o planejamento de políticas públicas. Em especial, na região do semiárido brasileiro e para as culturas de subsistência, como o milho e a mandioca. Ademais, os autores percebem uma sensibilidade entre a pequena produção e a transferência de recursos a partir da União, destinados a políticas anticíclicas. Por fim, a administração destes recursos tem sido exposta a toda sorte de ineficiências, ampliando o problema para a gestão local dos recursos.

Na dimensão saúde e migração, estudos contribuíram para avançar o conhecimento e aperfeiçoar o cálculo de indicadores de vulnerabilidade das populações no território brasileiro, contemplando também a dimensão econômica, como os estudos do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais (Cedeplar) da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) (2008), de Confalonieri, Marinho e Rodriguez (2009) e de Barbieri *et al.* (2010), sendo, porém, um estudo que se concentra em abordagens relacionadas à saúde. Mais detidamente, estes estudos se dedicam a avaliar a vulnerabilidade de populações da região Nordeste e os impactos sobre indicadores de saúde e migração populacional. Pode-se, inclusive, perceber correlação alta entre os piores indicadores sociais da região Nordeste, no que se refere ao acesso à infraestrutura básica, e de municípios que possivelmente serão mais afetados pela mudança climática, como apontado em Queiroz e Barbieri (2009).

Em paralelo, são municípios em que a dependência de transferências de recursos a partir do governo central é maior e a capacidade de ações rápidas é mínima. Tais estudos não se utilizam propriamente de uma metodologia econométrica. Contudo, serão classificados como análises de equilíbrio parcial por explorarem a construção dos indicadores pelos índices voltados para as condições socioeconômicas.

Timmins (2006), inspirado em Sanghi *et al.* (1997), com o objetivo de analisar futuros impactos da mudança climática sobre os solos brasileiros, optou por dividir o território brasileiro em oito solos distintos para seis regiões brasileiras: Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste, Minas Gerais e, finalmente, outros estados do Sudeste. Novamente, usando a técnica ricardiana, endogenizou o uso do solo e concluiu que a mudança climática pode aumentar ainda mais o ritmo de desflorestamento e alimentar, por consequência, ainda mais, o processo de mudanças climáticas.

Os resultados da mudança climática obtidos por Timmins (2006) mostram que elevações das temperaturas no verão tenderiam a diminuir a área de florestas e as lavouras permanentes, beneficiando as lavouras temporárias e principalmente as pastagens.⁴ No movimento oposto, o aumento de temperaturas no inverno provocaria a redução das áreas de pastagens⁵ e o aumento de áreas de florestas naturais. Para as lavouras, a elevação de temperaturas no período de inverno provocaria a redução das áreas de lavouras temporárias em Minas Gerais e nas regiões Sudeste e Sul e, inversamente, o aumento para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Outra análise, utilizando-se da mesma abordagem, é encontrada em Feres Reis e Speranza (2008) e se detém no caso da agricultura brasileira, avaliando impactos sobre a lucratividade e o preço da terra. Os produtores são supostos maximizadores de rentabilidade e, portanto, recorrem às culturas mais lucrativas. As informações são colhidas a partir de dados dos censos agropecuários brasileiros, entre 1970 e 1995, e, em paralelo, considerando os cenários B2 e A2 do IPCC. Como resultado, considera-se que o modelo construído para o preço da terra é pouco robusto, ao passo que o modelo para a lucratividade apresenta resultados consistentes. Neste indicador, o modelo prevê que a lucratividade poderia cair, no contexto geral do Brasil, apenas 0,8%, entre 2040 e 2069, para o cenário mais brando (B2), ou 3,7% para o cenário mais pessimista (A2). Se for considerado o intervalo de anos entre 2070 e 2099, os impactos seriam de -9,4% (B2) ou -26% (A2). Contudo, como esperado, os resultados são heterogêneos para o nível regional. Avaliando as cinco grandes regiões brasileiras, percebe-se que o resultado confirma o comportamento conhecido: Norte, Nordeste e Centro-Oeste observam prejuízos, enquanto Sul e Sudeste – exceto para o horizonte 2070-2099 no cenário A2 – apresentam ganhos classificados como notáveis.

4. Nesse caso, a região Sul também assistiria a um decréscimo nas áreas de pastagens.

5. Dessa vez, ocorreu efeito contrário na região Sul.

Finalmente, em Pinto e Assad (2008), os autores partem de um modelo climático denominado Precis e, em consequência, consideram os efeitos de dois cenários do IPCC, o A2 e o B2,⁶ e seus impactos sobre nove culturas principais da agropecuária brasileira.⁷ Faz-se mister destacar que, como lembram os autores, o zoneamento climático das culturas é uma combinação de temperatura e potencial hídrico das áreas analisadas. De posse da metodologia, definiu-se que os horizontes temporais de análise seriam os anos de 2010, 2020, 2050 e 2070.

Ressalte-se que uma limitação para a aplicação de cenários e valores contábeis contidos em Pinto e Assad (2008) reside no fato de que tais autores trabalham com projeções para áreas aptas ao desenvolvimento das culturas. A partir das simulações climáticas realizadas, Pinto e Assad (2008) calculam os impactos econômicos decorrentes dos efeitos previstos para a agricultura brasileira. Todavia, tais cálculos são realizados considerando-se somente a perda decorrente de produtividade das culturas, e sua avaliação é meramente contábil. Contudo, ao mapear as áreas aptas e inaptas, o trabalho disponibiliza uma informação essencial para a aplicação e a fundamentação dos modelos de equilíbrio geral computável.

4 MODELOS DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL

Os modelos de equilíbrio geral computável são largamente empregados para avaliar as consequências em análises de políticas e os choques de naturezas diversas. Como Wigle (2001, p. 5) afirma, o experimento típico em equilíbrio geral computável é perguntar-se: *qual o impacto de uma determinada política ou evento?*. Nesse sentido, e políticas de contenção da emissão de gases, derivadas ou não de acordos internacionais, e políticas de impostos sobre emissões e avaliações dos efeitos do aquecimento global, na ausência de contramedidas, são alguns exemplos de choques e simulações propostos, utilizando a metodologia. A abordagem integrada das variáveis permite capturar efeitos de escala e escopo nos fenômenos econômicos, em comparação com as abordagens de equilíbrio parcial.

Um artigo com objetivo centrado no Brasil, que encontra resultados próximos aos registrados na literatura internacional, a partir de uma metodologia CGE, é o de Moraes (2007), mas, mesmo neste caso, algumas limitações existem. Além do modelo CGE utilizado, trata-se de um modelo simplificado (minimal), a calibração deu-se com dados da matriz insumo-produto de 1996 e os dados também se encontram agregados em nível nacional. De qualquer forma, as variações, para o produto interno bruto (PIB), decorrentes dos efeitos da mudança climática, situam-se entre quedas de 0,18% a 0,92%, dependendo do cenário.

6. Recorde-se que no cenário B2 há uma estimativa de aumento da temperatura de 2,4° C, enquanto no cenário A2 a temperatura eleva-se 3,4° C – tendências centrais.

7. Quais sejam: algodão, arroz, feijão, café, cana-de-açúcar, girassol, mandioca, milho e soja.

Neste caso, porém, foram simulados choques sobre a produtividade dos insumos utilizados na agricultura, com base em cenários internacionais.

Em Domingues, Magalhães e Ruiz (2008), consideram-se apenas os cenários de mudança climática no Nordeste, e o cenário-base é obtido dos estudos produzidos por Pinto e Assad (2008). Desse modo, a variável que sofre o choque é a disponibilidade de terras para a agricultura, considerada a probabilidade de sucesso de 80%, correspondente ao seguro agrícola. Entretanto, os efeitos não são diferenciados por cultura, sendo que a opção é um choque sobre o setor agropecuário agregado. Os resultados demonstram que o PIB agrícola da região pode cair até 13%, enquanto o emprego teria queda de 6% em 2050. Os resultados estaduais demonstram que Pernambuco seria o estado mais afetado – queda de até 18,6% – e Sergipe seria o estado menos afetado, podendo inclusive se nota aumento do PIB no cenário B2. O modelo de equilíbrio geral computável utilizado foi o TERM.

O trabalho de Domingues *et al.* (2010) prossegue nessa linha, agora com resultados por microrregião brasileira e um modelo regionalizado dinâmico; ou seja, com variações em períodos sucessivos. Neste artigo, os dados de Pinto e Assad (2008) são as fontes primárias das informações e são disponibilizados para oito culturas agrícolas, além da pecuária. Note-se, entretanto, que, diferentemente de Domingues, Magalhães e Ruiz (2008), este novo estudo trabalha com outro modelo de equilíbrio geral computável, o B-MARIA.

O artigo de Moraes e Ferreira Filho (2010) recorre, também, ao modelo TERM para estimar impactos econômicos a partir de perspectivas para oito culturas agrícolas. O artigo traz alguns pontos ao exame, notadamente: *i)* considera os possíveis efeitos benéficos de uma mudança climática branda – cenário de 2020 – sobre a cana-de-açúcar e a mandioca; *ii)* realiza uma ligação entre os efeitos esperados e a estrutura do mercado de trabalho,⁸ apontando tendências de transferências de região e atividades; e *iii)* realiza, também, uma ligação entre os efeitos esperados e os impactos no orçamento das famílias,⁹ demonstrando a intensidade dos impactos sobre o orçamento das famílias mais carentes. Os resultados também apontam que produtos industriais e de serviços seriam produzidos com um custo menor, resultando em redução do preço da cesta das famílias mais abastadas. O resultado sugere, portanto, uma concentração maior da renda como resultado das mudanças climáticas.

Ainda Ferreira Filho e Horridge (2010) avaliam impactos da mudança climática sobre migrações internas, especialmente a partir dos impactos sobre a agricultura. A motivação do estudo é entender como o mercado de trabalho pode ser afetado, bem como, em paralelo, a distribuição da população entre as zonas rural e urbana.

8. Utilizando-se das informações da Pesquisa Nacional por Amostra em Domicílios (PNAD).

9. Utilizando-se das informações da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF).

Em comum, os resultados de todos esses estudos demonstram que a região Nordeste, por seu clima,¹⁰ e os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, pela concentração da produção agrícola em soja, seriam afetados em intensidades relevantes em suas economias. As quedas previstas seriam superiores a 5% do PIB para a maior parte dos estados mencionados. Este resultado, sendo seguro, sugere que políticas contracíclicas deveriam ter sido pensadas para as regiões como alternativas de renda. Tais políticas passam pela disponibilidade de tecnologia agrícola ou pela diversificação das atividades econômicas, o que exigiria a adaptação da mão de obra local e da logística regional.

Os resultados contidos em Dubeux e Margulis (2010) demonstram que a incorporação de áreas como a da saúde, os eventos climáticos extremos e a perda de áreas litorâneas tornam maiores os prejuízos associados, em comparação àqueles que somente consideram a agricultura. Ressalte-se que estes autores também consideram os resultados relativos à biodiversidade em todas as áreas cujos cenários ainda não estão consolidados, uma vez que a biodiversidade é sujeita a correções e avaliações; portanto, os resultados geram grande incerteza, assim como aquela verificada no *Stern Review*. Uma área importante incluída no estudo foi a de efeitos sobre a geração de energia, pois ainda que se preveja maior quantidade de chuvas, estas seriam mais concentradas; portanto, resultando em períodos de seca maiores. Para um país com energia hidráulica, esta antecipação é fundamental.

De toda forma, o estudo mostra um impacto importante sobre a economia nacional. Diversas metodologias, porém, foram utilizadas de forma combinada para a avaliação dos impactos totais, indicando não apenas uma multidisciplinaridade, mas também metodologias múltiplas como um caminho a ser trilhado.

Motta *et al.* (2011) reforçam, todavia, que a questão central para a tomada de decisão em políticas de mudanças climáticas reside em entender os benefícios e os custos da mitigação comparados aos benefícios e aos custos da adaptação, incluindo-se a variável de mais dificuldade de projeção, a tecnologia. Os autores reforçam a incerteza associada aos diversos estudos econômicos, destacando o permanente diálogo que deve ser mantido com as demais ciências; notadamente, as naturais. Assim, como concluem os autores, o princípio da precaução é importante, mas tomá-lo em exagero pode ser um importante constrangimento ao desenvolvimento socioeconômico.

10. Exceção feita ao estado de Sergipe, por seu clima particular.

5 ESTUDOS DE MITIGAÇÃO

Os estudos sobre mitigação dos efeitos da mudança climática no Brasil têm origem nos estudos americanos, sobretudo o de Nordhaus (1992). Portanto, os trabalhos brasileiros se concentram na utilização de modelos de equilíbrio geral ou de matriz insumo-produto.

Em geral, os estudos simulam a introdução de taxas sobre emissões de GEEs nos setores da economia, ou simulam a adoção de metas do Protocolo de Kyoto. Outras variantes dizem respeito a uma análise sobre o comércio internacional ou a efeitos sobre economias regionais. Exceção é o trabalho de Daubermann *et al.* (2011), que se dedicam a avaliar o efeito de políticas de mitigação no uso da terra, reconhecendo, sobretudo, um efeito de *feedback* sobre as emissões totais de GEEs.

Rocha (2003) simula a trajetória de emissões *pari passu* a trajetórias de crescimento econômico e distribuição do perfil econômico dos setores no produto total. O modelo *carbon emission reduction trade* (CERT), construído pelo autor, permite tentar inferir a evolução do mercado de carbono, especialmente o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e as repercussões no Brasil. Em razão das dificuldades para a renovação do Protocolo de Kyoto e dos consequentes efeitos sobre o MDL, os lucros previstos apenas para o Brasil poderiam resultar em até US\$ 328 milhões.

Em Tourinho, da Mota e Alves (2003), há uma aplicação de um modelo de equilíbrio geral, simulando a adoção de tributação sobre emissões de carbono na economia brasileira. Três cenários foram simulados, um deles no mesmo nível que posteriormente será testado por Silva e Gurgel (2012). Os resultados também apontam para uma queda no PIB; em especial, no consumo das famílias. Porém, ao contrário do que dizem Silva e Gurgel (2012), as quedas na atividade econômica são de fato desprezíveis.

A apuração do total de gases emitidos pelos setores econômicos no Brasil e as implicações de restrições sobre as emissões são avaliadas por Hilgemberg (2004). Várias simulações são realizadas, demonstrando resultados nacionais e regionais, além de setoriais. As restrições sobre emissões tendem a afetar especialmente o setor de comércio e serviços, além dos de agricultura, alimentos e bebidas, de acordo com esta avaliação. O resultado em comércio e serviços se explica, sobretudo, devido à presença do setor energético. Regionalmente, porém, a importância dos setores se altera conforme o perfil produtivo da região.

Outro exercício a respeito da introdução de impostos sobre emissões de GEEs, tendo em vista as metas de Kyoto e Copenhague, é realizado por Silva e Gurgel (2010). Os autores se utilizam de um modelo de equilíbrio geral computável, dinâmico e multirregional para avaliação de efeitos. Eles consideram pequena a redução à qual a economia brasileira estaria submetida, bem como as alterações

necessárias na matriz energética brasileira. Entretanto, a queda de 6% do PIB em 2050 pode ser considerada expressiva, especialmente se considerados os resultados desiguais por regiões. Ademais, há um reconhecimento de que as ações sobre o setor agropecuário necessitam de medidas adicionais; não apenas a introdução do imposto simulado, de US\$ 20,00, sobre a tonelada de carbono emitida.

Para Ferreira Filho e Rocha (2007), excluindo-se as emissões oriundas da alteração no uso da terra e classificando-se as fontes de emissão em uso de combustíveis fósseis e emissões ligadas à produção, simulam-se adoções de impostos sobre estes dois blocos de emissões. Especificamente, as taxas que são adotadas no setor de emissões ligadas à produção demonstram-se mais importantes que aquelas que venham a ser estabelecidas no setor energético. Porém, o principal impacto é elevar os preços, especialmente os dos produtos alimentares.

Os impactos que a adoção de metas de emissão de GEEs têm sobre a economia foram analisados, também, pelo modelo CGE, por Feijó e Porto Júnior (2009). A vantagem oriunda do fato de expressiva parcela da matriz energética brasileira provir de energia renovável favorece a posição relativa da economia brasileira no caso de adoção de metas. Tanto melhor se o Brasil optasse por participar das emissões certificadas, mas, como resultado geral, as opções de cenários estudados mostram uma variação geral da economia pequena.

Em outro sentido, a adoção, pelos países desenvolvidos, de uma matriz energética limpa, baseada em biocombustíveis, no setor de transportes, teria um importante impacto sobre a atividade econômica no Brasil, segundo Lima e Gurgel (2011). Sobretudo, a adoção destas políticas de mitigação teria como resultado uma concentração dos fatores de produção na produção de biocombustíveis, em prejuízo das demais atividades. Ademais, os autores alertam para a possibilidade de deterioração dos termos de troca para o Brasil. Como última percepção, os autores condicionam este resultado ao perfil de substituição dos combustíveis fósseis.

Na mesma linha, Nardy e Gurgel (2011) simulam como uma redução das tarifas de importação de etanol nos Estados Unidos impactaria o perfil produtivo brasileiro. Se, de um lado, pode-se perceber a redução das emissões de GEEs no setor de transportes, por outro, a dinâmica do uso da terra se alteraria e há indicações de que a área de pastagens e florestas se reduziria em favor das áreas de culturas de cana-de-açúcar, aumentando as emissões. Entretanto, ainda que para o resultado líquido seja possível esperar uma redução líquida das emissões, aparentemente, haveria uma transferência das emissões, considerados os limites internacionais e, adicionalmente, os impactos ambientais, outros derivados do aproveitamento econômico na agricultura de terras que hoje são recursos florestais. Esta discussão, porém, para ser realizada, assumiria os resultados do trabalho recém-publicado.

Daubermann *et al.* (2011), porém, simulam que as políticas de adoção de biocombustíveis previstas pela Califórnia podem indiretamente estimular uma redução ainda maior que o previsto, se considerados os padrões de produtividade e rendimento na produção de biocombustíveis no Brasil. Em especial, a ampliação da produção, nas áreas de florestas do Brasil, sugere uma situação na qual a incorporação de novas áreas ainda permite rendimentos crescentes de escala.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio das diversas linhas de estudo sobre o problema das mudanças climáticas, podem-se perceber, em especial, dois desafios importantes: *i*) o aperfeiçoamento dos cenários para que a comparação das diversas estratégias seja possível de um ponto de vista econômico; e, além disso, *ii*) os aperfeiçoamentos metodológicos, tanto para as análises de equilíbrio parcial quanto para as análises de equilíbrio geral.

A primeira linha de desafios, especialmente, possibilitaria ao Brasil desenhar uma estratégia de desenvolvimento econômico que contemplasse as características setoriais da economia e a sua matriz energética. Assim, impactos setoriais agudos poderiam ser antecipados e minimizados, da mesma forma que as eventuais benesses de fontes energéticas renováveis pudessem ser direcionadas para setores que têm maior potencial de redução de emissões. Até o momento, por sua peculiar oferta de energia, parece mais vantajoso ao Brasil realizar um esforço de redução das emissões, tendo em vista que o impacto econômico é limitado, comparado às potenciais perdas. Em outras palavras, políticas de mitigação são superiores, em termos econômicos, a perspectivas de vulnerabilidade e/ou adaptação.

De qualquer forma, nota-se na literatura uma ausência de modelos econômicos de crescimento teóricos que contribuam com políticas ótimas de desenvolvimento sustentável, contemplando equilíbrio econômico e adequação ambiental.

Na segunda linha, pede-se um esforço dos pesquisadores no sentido de validar e testar suas metodologias para os problemas apresentados. Mais que isto, seria importante identificar pontos de complementaridade entre metodologias e gerar efeitos *feedback* nos resultados. A inclusão de uma ou mais dimensões que contemplassem as relações biofísicas, por exemplo, pode ser abordada nos modelos de insumo-produto, bem como em modelos de equilíbrio geral. Ademais, elasticidades específicas podem ser pesquisadas, causando o aprimoramento dos resultados. A contribuição do estudo de algumas séries de tempo – em especial, as relacionadas às demais dimensões, não econômicas, dos problemas da mudança climática – pode também recuperar parcelas de conhecimento. Finalmente, a manutenção de uma estratégia de modelagem regionalizada deve ser mantida; em especial, no caso brasileiro.

Essa revisão demonstra que são consideráveis os pontos de conhecimento sobre o problema da mudança climática no Brasil, pelo menos no seu aspecto econômico. E também que, a partir destes pontos de entendimento, é possível pensar em estratégias, sendo esta a principal contribuição dos trabalhos na área.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, A. *et al.* Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025-2050. **Population and environment**, v. 31, p. 344-370, 2010.

BARKER, T.; QURESHI, M. S.; KÖHLER, J. **The costs of greenhouse gas mitigation with induced technological change: a meta-analysis of estimates in the literature.** Cambridge: University of Cambridge, 2006. (Working Paper n. 89). Disponível em: <<http://goo.gl/DZFW13>>.

CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. Avaliação da intensidade de emissões de CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil. **Revista de economia aplicada**, v. 13, p. 99-124, 2009.

CEDEPLAR – CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL DE MINAS GERAIS; FIOCRUZ – FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050.** Belo Horizonte: Cedeplar; Fiocruz, 2008. Relatório de Pesquisa.

CHIMELI, A. B.; SOUZA FILHO, F. A. Climate forecasting and emergency policies evidence of opportunities from Ceara. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 32., 2004, Salvador, Bahia. **Anais...** Brasília: ANPEC, 2004.

CONFALONIERI, U.E.C. Regional climate change and human health in South America. *In*: DIAS, P. L. S.; RIBEIRO, W. C.; NUNES, L. H. **A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America.** São Paulo: IEA/USP, 2007. P. 183-195.

_____. Global climate change and human health in Brazil. **Parcerias estratégicas**, Brasília, v. 27, p. 323-349, 2008.

CONFALONIERI, U. E. C.; MARINHO, D. P.; RODRIGUEZ, R. Public health vulnerability to climate change in Brazil. **Climate research**, v. 40, p. 175-186, 2009.

DARWIN, R. *et al.* **World agriculture and climate change.** Washington: USDA, 1995. (Agricultural Economic Report, n. 703).

DAUBERMANN, E. C. *et al.* Impactos da legislação californiana de combustíveis de baixas emissões sobre a produção de etanol e uso da terra no Brasil. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 49., 2011, Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** Brasília: Sober, 2011.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; RUIZ, R. M. **Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste.** Belo Horizonte: Cedeplar, 2008. (Texto para Discussão, n. 340).

DOMINGUES, E. P. *et al.* **Impactos econômicos da mudança do clima no Brasil.** *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 38. Salvador: ANPEC, 2010.

DOWLATABADI, H.; MORGAN, M. G. Integrated assessment of climate change. **Science**, Washington, v. 259, n. 26, p. 1813-1.932, 1993.

DUBEUX, C.; MARGULIS, S. Economia da mudança do clima. **Boletim regional, urbano e ambiental**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 7-13, 2010.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Two essays on climate change and agriculture.** Roma, 2000. (FAO Economic and Social Development Papers, n. 145).

FEIJÓ, F. T.; PORTO JUNIOR, S. S. Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil: uma análise utilizando equilíbrio geral computável. **Análise econômica**, Porto Alegre, v. 51, p. 127-154, 2009.

FERES, J. G.; REIS, E. J.; SPERANZA, J. S. Assessing the impact of climate change on the Brazilian agricultural sector. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Brasília: Sober, 2008.

FERREIRA FILHO, J. B. S. **Introdução aos modelos aplicados de equilíbrio geral: conceitos, teoria e aplicações.** Piracicaba: ESALQ, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/kpekiA>>.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. J. **Climate change impacts on agriculture and internal migrations in Brazil.** *In*: ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS, 13. Penang, 2010.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; ROCHA, M. T. Avaliação econômica de políticas públicas visando à redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45. **Anais...** Londrina, 2007. p. 1-27.

FRANÇA, F.; GURGEL, A. C. Impactos econômicos de políticas climáticas europeias e americanas sobre a economia brasileira. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 39. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2011.

GUILHOTO, J. J. M.; LOPES, R. L.; MOTA, R. S. **Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira 2002-12**. Rio de Janeiro: Ipea, 2002. (Texto para Discussão, n. 892).

GONZÁLES, U. J.; VELASCO, H. R. Evaluation of the impact of climate change on the economic value of land in agricultural systems in Chile. **Chilean journal of agriculture research**, Santiago, v. 68, n. 1, p. 56-68, 2008.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil**: um modelo interregional de insumo-produto. 2004. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

JORGERSON, D. W.; WILCOXEN, P. J. Environmental regulation and U.S. economic growth. **RAND journal of economics**, v. 21, n. 2, p. 314-340, Summer 1990.

LIMA, E. M. C.; GURGEL, A. C. Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 49., 2011, Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** Brasília: Sober, 2011.

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

MENDELSON, R.; DINAR, A. Climate change, agricultural, and developing countries: does adaptation matter? **The World Bank research observer**, Washington, v. 14, n. 2, p. 277-293, Aug. 1999.

MORAES, G. I. A economia da mudança climática e seus efeitos sobre a agricultura e a agroindústria brasileira. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina, Paraná. **Anais...** Brasília: Sober, 2007.

MORAES, G. I.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Impactos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Anais...** Brasília: Sober, 2010.

MOTA, J. A.; GAZONI, J.; GÓES, G. S. **Economia das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Ipea, 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/7nnM3y>>.

MOTTA, R. S. *et al.* (Orgs.). **Mudança do clima no Brasil**: aspectos sociais, econômicos e regulatórios. Rio de Janeiro: Ipea, 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/7nnM3y>>.

NARDY, V.; GURGEL, A. C. Impactos da liberalização do comércio de etanol entre Brasil e Estados Unidos sobre o uso da terra e emissões de CO₂. *In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL*, 49., 2011, Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** Brasília: Sober, 2011.

NORDHAUS, W. D. An optimal transition path for controlling greenhouse gases. **Science**, Washington, v. 258, p. 1.315-1.319, 1992.

_____. Economic approaches to greenhouse warming. *In: DORBUSCH, R.; POTERBA, J. M. (Eds.). Global warming: economic policy responses*. Boston: MIT Press, 1993. P. 7-31.

_____. **Managing the global commons: the economics of climate change**. Cambridge: The MIT Press, 1994.

OLDFIELD, F.; ALVERSON, K.; BRADLEY, R. (Orgs.). **Past global changes and their significance for the future**. Washington: Elsevier, 2000.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. (Orgs.). **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. Campinas: Embrapa; UNICAMP, 2008.

QUEIROZ, B.; BARBIERI, A. Os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre as condições de vida e a dinâmica populacional no Nordeste brasileiro. *In: HOGAN, D. J.; MARANDOLA JUNIOR., E. (Orgs.). População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. Campinas; Brasília: Nepo; UNICAMP, 2009.

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

ROMER, D. **Advanced macroeconomics**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

SANGHI, A. **Global warming and climate sensitivity: Brazilian and Indian agriculture**. 1998. Dissertation (Ph.D.) – University of Chicago, Chicago, 1998.

SANGHI, A. *et al.* Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. **Economia aplicada**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.

SILVA, J.; GURGEL, A. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 42, n. 1, p. 93-135, abr. 2012. Disponível em: <<http://goo.gl/hAcw7X>>.

STERN, N. **Stern Review on the Economics of Climate Change**. HM Treasury. Cabinet Office, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/HOugug>>.

TRAINER, T. A short critique of Stern Review. **Real-world economics review**, Australia, n. 45, p. 54-58, Mar. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/2MKu5I>>.

TIMMINS, C. Endogenous land use and the Ricardian valuation of climate change. **Environmental & resource economics**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 119-142, 2006.

TOURINHO, O. A. F.; DA MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. **Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral**. Rio de Janeiro: Ipea, 2003. (Texto para Discussão, n. 976). Disponível em: <<http://goo.gl/QZ47pz>>.

WEYANT, J. P. A critique of the Stern Review's mitigation cost analysis and integrated assessment. **Review of environmental economics and policy**, Oxford, v. 2, n. 1, p. 77-93, 2008.

WIGLE, R. **CGE modelling of trade and the environmental**. Montreal, 2001.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks 2007**: a global risk network report. Geneva: World Economic Forum, 2007.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

LOBELL, D. B. *et al.* Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. **Science**, Washington, v. 319, p. 607-610, 2008.

SIQUEIRA, O. J. W. *et al.* Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320, 2000.

