

IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

Eduardo Amaral Haddad
FEA-USP
e-mail: ehaddad@usp.br

Edson Paulo Domingues
Cedeplar-UFMG
e-mail: epdomin@cedeplar.ufmg.br

Fernando Salgueiro Perobelli
FEA-UFJF
fernando.perobelli@ufjf.edu.br

Eduardo Simões de Almeida
FEA-UFJF

Carlos Roberto Azzoni
FEA-USP

Joaquim J. M. Guilhoto
FEA-USP

Fabio Kanczuk
FEA-USP

RESUMO: Este trabalho avalia de forma integrada o grau de influência do aquecimento global na agenda de desenvolvimento do Brasil. O objetivo é avaliar os impactos sobre a economia brasileira causados por mudanças climáticas em termos de temperatura e pluviosidade considerando dois cenários baseados em premissas do IPCC (cenários A2 e B2). Além disto, busca desenvolver de maneira inovadora uma metodologia integrada de projeção de impactos econômicos de mudanças climáticas e políticas de adaptação e mitigação no Brasil, considerando explicitamente suas diversas escalas territoriais (macrorregiões, estados, microrregiões e rede de cidades). O artigo articula ainda as projeções de alterações climáticas com modelos socioeconômicos, de forma que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos possa ser efetuada.

PALAVRAS-CHAVE: mudança climática, Brasil, impactos econômicos, equilíbrio geral

KEY WORDS: climate change, general equilibrium, impacts

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é desenvolver cenários dos impactos econômicos de mudanças climáticas (MC) no Brasil, articulando os impactos projetados das MC sobre os setores agrícolas e energéticos a cenários macroeconômicos, estes relacionados aos cenários de mudanças climáticas desenvolvidos pelo IPCC (A2 e B2).

A questão ambiental entrou definitivamente na agenda de pesquisa dos economistas na década de 60, quando projeções catastróficas acerca do esgotamento dos recursos naturais evidenciaram a ausência nos modelos econômicos de aspectos ecológicos (MAY *et al.*, 2003). Recentemente, o efeito estufa, ou aquecimento global é um dos temas predominantes no âmbito da Economia do Meio Ambiente. Alguns pesquisadores afirmam que a magnitude do impacto é hoje suficiente para mudar largamente o clima na Terra e afetar intensamente algumas regiões, países e continentes. A escala do impacto saiu da dimensão local e regional para a escala mundial, visto que o aumento da temperatura é função do acúmulo das emissões históricas dos países, que elevam as concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera.

O Relatório Stern (STERN, 2006) é um dos estudos mais citados sobre o tema e reacendeu a discussão sobre a relação entre mudanças climáticas, impactos econômicos e políticas de mitigação. Segundo o relatório, baseado em modelos econômicos formais, se ações não forem implementadas, os custos totais e riscos da mudança climática vão ser equivalentes a perda de no mínimo 5% do PIB global em cada ano até 2050.

Mudanças climáticas, por se caracterizarem como um fenômeno que pode afetar diversos setores e regiões de uma economia de forma diferenciada, e cujos efeitos podem se amplificar ou anular dentro da cadeia de inter-relações econômicas implicam que as análises em equilíbrio geral computável (EGC) são as mais adequadas ao tema. Esta é uma razão para a predominância de modelos EGC no estudo de mudanças climáticas (MANNE, 2005). Entretanto, a análise de impacto regional do fenômeno é uma lacuna na literatura de mudanças climáticas e de aplicação de modelos EGC.

Deste modo, um dos objetivos deste artigo é apresentar uma metodologia integrada de projeção de impactos econômicos de mudanças climáticas no Brasil, considerando explicitamente suas escalas territoriais (microrregiões e estados). Pretende-se, neste sentido, articular as projeções de alterações climáticas, e seus efeitos diretos, a modelos de equilíbrio geral computável (EGC) de forma que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos possa ser efetuada. A partir daí, políticas de mitigação e adaptação no Brasil podem ser estudadas.

Este trabalho resume a metodologia econômica e os resultados obtidos no âmbito do estudo “Economia do Clima”, desenvolvido por um consórcio de instituições de pesquisa no Brasil.¹ Este estudo procurou discutir estratégias para lidar com os riscos

¹ Participaram do estudo o Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (Cedeplar-UFMG), o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), a Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), o Instituto de

climáticos e avaliar a efetividade das medidas de mitigação já em curso, assim como identificar as principais vulnerabilidades da economia e da sociedade brasileira em relação às mudanças climáticas.

Este trabalho se divide em cinco seções. A seção 2 descreve a metodologia utilizada. Na seção 3 são apresentados os cenários de mudanças climáticas e suas repercussões na economia brasileira. A seção 4 apresenta os impactos das mudanças climáticas sobre a economia brasileira, do ponto de vista macroeconômico, setorial e regional. A última seção tece as considerações finais.

2. METODOLOGIA

O núcleo central da modelagem utilizada é um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) capaz de lidar de maneira consistente com a integração com outros modelos do estudo, notadamente os de demanda e oferta de energia, uso da terra e o modelo de produtividade agrícola. Estes, por sua vez, são integrados a modelos climáticos.

Os cenários delineados para a economia brasileira e suas regiões geram projeções de variáveis econômicas em bases macroeconômicas, setoriais e regionais consistentes. A produção agregada do país é agrupada em 55 diferentes tipos de setores produtivos e localizada em 558 microrregiões. Projeções para o nível de atividade desses 55 setores são geradas em cada uma das 558 regiões, para o horizonte de tempo até 2050. O resultado é um quadro geral do futuro da economia brasileira como um todo, detalhado para setores e regiões consistentes com as premissas utilizadas no estudo do IPCC. Estes cenários de referência são elaborados **sem** mudanças climáticas globais (SMCG).

Utilizando-se a mesma estrutura adotada para a geração dos cenários de referência, os cenários **com** mudanças climáticas globais (CMCG) incorporam os efeitos das MCG em setores selecionados (agricultura, pecuária e energia) para a avaliação dos impactos comparativos. Esta construção de cenários objetiva verificar se as mudanças consideradas proporcionam impactos que reorientam ou não o futuro das regiões no rumo do desenvolvimento econômico, com maior equidade territorial e social. Os impactos socioeconômicos comparativos entre as situações SMCG e CMCG são assim analisados em termos de benefícios e custos para o Brasil e suas regiões. Os impactos das MCG são colocados em perspectiva em relação ao cenário SMCG.

Dados os objetivos aqui propostos, a busca por um sistema integrado de modelagem para avaliação de impactos socioeconômicos das MCG – os *Integrated Assessment Models* – vem se mostrando um caminho bastante promissor apesar das limitações e dos desafios teóricos e metodológicos existentes em sua implementação. A integração de modelos, que é o principal objetivo a ser perseguido, refere-se não apenas àquela entre modelos macroeconômicos e modelos climáticos, mas também à integração de sistemas regionais mais amplos, em que a dimensão espacial é explicitamente considerada nos vários módulos de integração.

Neste sentido, o ponto de partida para a execução do estudo foram modelos de equilíbrio geral computável (EGC) desenvolvidos para o Brasil. Dados os objetivos, os modelos desenvolvidos precisam incluir na sua especificação teórica e aplicada, itens necessários para a articulação com outros estudos setoriais como, por exemplo: consumo e geração de energia para diferentes setores e regiões, substituição entre diferentes fontes de energia no processo produtivo e no consumo das famílias (álcool x gasolina, energia elétrica x gás encanado), possibilidade de substituição das fontes de geração de energia elétrica (hidráulica x térmica), produtividade agrícola e uso da terra, oferta de água, dentre outros.

Algumas das deficiências dos modelos EGC podem ser suprimidas ao se inserir o modelo EGC como módulo central de um sistema integrado de modelagem mais amplo, com o objetivo de se buscar uma síntese econômica dos impactos das MCG. Dadas as várias virtudes de modelos espaciais EGC para lidar com sistemas inter-regionais, este instrumental torna-se o principal candidato a ocupar a posição de módulo central de um sistema de modelagem totalmente integrado.

Estudos sobre custos econômicos das MCG têm-se concentrado na avaliação de políticas para redução das emissões de GEE (e.g. tributação de carbono). Há poucos estudos de nosso conhecimento que tratam especificamente dos custos/benefícios de MGC utilizando modelos EGC, com a sistematização do mapeamento de efeitos físicos sobre efeitos econômicos. Os estudos existentes utilizam como principal canal de integração efeitos sobre produtividade agrícola na função de produção dos países ou grupos de países afetados. Em geral, não há compromisso com a consistência intertemporal dos resultados. Estudos para o Brasil são ainda mais raros, e quando se coloca a questão, o País não é tratado individualmente, aparecendo agregado a um conjunto de outros países (em geral, América Latina).

Domingues *et al* (2008) foi o primeiro trabalho no Brasil a projetar o impacto de mudanças climáticas (para a região Nordeste) com um modelo EGC inter-regional, a partir de estimativas das implicações sobre a disponibilidade de terras aptas para a atividade agrícola em um conjunto de cultivos. Os resultados obtidos indicaram um elevado potencial de perdas econômicas no Nordeste, especialmente nos estados mais pobres, apontando para a necessidade de políticas de mitigação e de controle de emissões. Na ausência destas políticas, os efeitos econômicos sobre o emprego, por exemplo, podem gerar impactos significativos sobre os fluxos migratórios, repercutindo na forma de elevada pressão sobre os serviços de infra-estrutura urbana das metrópoles do Nordeste e de outras regiões do país.²

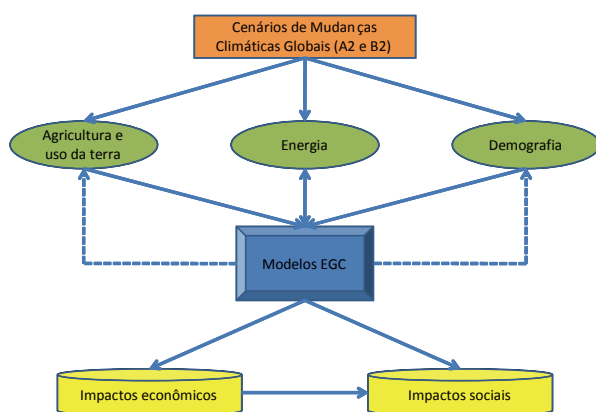
Outros estudos procuram identificar custos ligados a aspectos setoriais do fenômeno, notadamente custos sobre saúde, ecossistemas, agricultura e recursos hídricos, além de custos de eventos extremos. Neste contexto, o estudo para o Brasil coloca-se como um avanço metodológico em termos de estudos de MCG em países em desenvolvimento. No caso do módulo socioeconômico, o estudo apresenta uma síntese econômica sistêmica inédita em termos de impactos espacializados de MCG em trajetórias temporais explícitas. Ainda utilizando-se uma integração seqüencial (em alguns casos semi-iterativas) com outros módulos do estudo, garante-se a consistência intertemporal

² A partir destes resultados e de um modelo demográfico, Barbieri et al (2010) projetaram os impactos sobre migração e saúde no Nordeste, devido aos impactos das mudanças climáticas. Um resumo destes resultados foi publicado em Cedeplar e Fiocruz (2008).

dos resultados em seus vários níveis de agregação. Ressalta-se, mais uma vez, a ênfase dada à espacialidade do processo de desenvolvimento socioeconômico no País.

Dentro do arcabouço geral do estudo, o Diagrama 1 destaca os principais canais de integração entre os cenários de mudanças climáticas e modelos EGC. Os efeitos físicos traduzem-se em efeitos econômicos através dos resultados dos modelos de agricultura, uso da terra, e de energia. Estes, por sua vez, utilizam resultados de outros modelos intermediários. O modelo EGC utiliza também projeções populacionais baseadas em modelos demográficos. Uma possibilidade adicional, não explorada neste estudo, é a retro-alimentação dos modelos agrícolas e demográficos pelos resultados do modelo EGC. As relações do modelo EGC com os modelos de energia são feitas de forma semi-iterativa, como descrito a seguir.

Diagrama 1. Modelagem dos impactos das MCG sobre a economia brasileira



Para a elaboração dos dois cenários de mudanças climáticas (A2 e B2) utiliza-se um sistema integrado de modelagem para geração de cenários temporais, tendo como núcleo central um modelo de equilíbrio geral computável denominado EFES (Economic Forecasting Equilibrium System)³ existente na FIPE, cujo objetivo geral é a especificação e implementação de um sistema de informações integrado para projeção macroeconômica, setorial e regional, e análise de políticas econômicas⁴. O EFES está integrado a um modelo macroeconômico de equilíbrio geral dinâmico (EGD)⁵, permitindo a geração de resultados desagregados para até 55 setores e 110 produtos, consistentes com cenários internacionais e macroeconômicos preestabelecidos.

Dentro da estratégia de implementação do modelo, podemos definir, esquematicamente, os vários estágios de simulação para a obtenção das projeções dos cenários econômicos

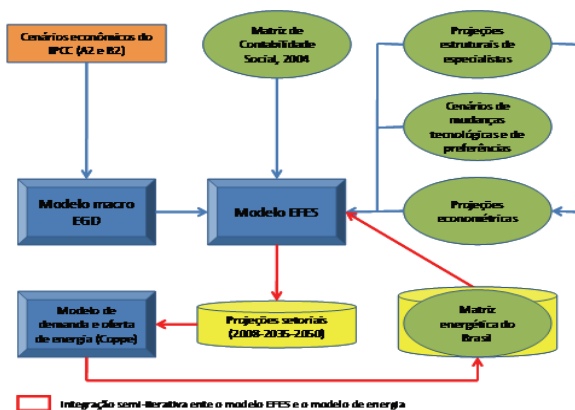
³ Haddad e Domingues (2001).

⁴ O modelo EFES trata explicitamente do comportamento de 5 classes de agentes econômicos: produtores, mercado externo, governo e outras demandas, investidores e consumidores. O comportamento de cada um desses agentes está inter-relacionado, dada a interdependência dos mercados, os fluxos de bens e serviços, e o processo de geração e apropriação da renda. As equações do modelo tratam de captar, de acordo com os fundamentos básicos da teoria econômica, as inter-relações entre os mercados e o comportamento dos agentes econômicos. A estrutura teórica do modelo EFES também capta especificidades da economia brasileira, que ao mesmo tempo está refletida no banco de dados e nos parâmetros utilizados. Existe ainda um importante fluxo intersetorial de insumos intermediários dentro do bloco de produtores. O modelo é especificado com componentes de dinâmica suficientes para gerar projeções temporais para a economia brasileira. Dessa forma, pode-se projetar trajetórias de nível de atividade por setor.

⁵ Kanczuk (2001, 2004).

consistentes, considerando a integração dos vários módulos (Diagrama 2). A utilização do modelo EFES em simulações de projeção possibilita a produção de resultados estruturais e macroeconômicos sobre a evolução da economia brasileira no período de estudo (2008-2050).

Diagrama 2. Estratégia para geração de cenários setoriais



No ambiente de projeção, o modelo é alimentado por projeções macroeconômicas do modelo EGD. Entre as informações utilizadas, está a evolução da inflação, da taxa de câmbio, do consumo das famílias, dos gastos do governo, do investimento agregado e das exportações. Como insumo ao modelo EFES fazem parte também projeções de especialistas e cenários sobre alterações nas preferências e tecnologia. Políticas setoriais específicas também são introduzidas nas simulações de projeção. Alimentado com estas informações, o modelo EFES produz projeções estruturais e macroeconômicas para a economia brasileira. O amplo conjunto de resultados é totalmente consistente com as informações de entrada do modelo, com a estrutura da economia brasileira e com a teoria econômica estabelecida.

Nesta etapa do trabalho, cujo objetivo é a geração das trajetórias temporais de referência consistentes com os cenários A2 e B2 do IPCC, ocorre uma integração semi-iterativa com o modelo de demanda e oferta de energia. Esta integração permite que se ajuste a matriz energética brasileira considerando-se aspectos mais específicos do funcionamento do setor energético do País.

Os cenários aqui apresentados estabelecem limites prováveis para a trajetória da economia brasileira, utilizando-se hipóteses consistentes com os cenários A2 e B2 do IPCC. Com estes cenários, deseja-se delinear um quadro referencial básico a partir do qual a quantificação e análise dos cenários setoriais serão realizadas. A construção dos cenários macroeconômicos apresentados está solidamente fundamentada na utilização de um modelo EGD que contempla interações de cinco tipos de agentes econômicos (famílias, firmas, setor financeiro, governo e o resto do mundo), em um ambiente sujeito a (i) choques monetários, (ii) choques de risco e (iii) choques de produtividade. A etapa fundamental para a construção de um determinado cenário é a montagem das hipóteses para estas três perturbações, sendo a evolução da produtividade essencial para a determinação do crescimento econômico e das taxas de investimento e demandam uma análise mais profunda, assim como as conjecturas para o desenvolvimento da economia internacional, e do marco institucional e da política fiscal domésticos.

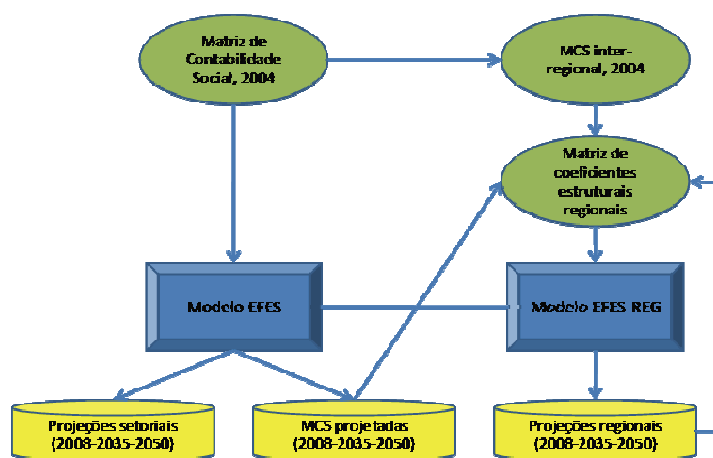
Esta integração ocorre da seguinte maneira:

1. No primeiro estágio, elabora-se um cenário econômico sem mudança climática e com matriz energética estruturalmente inflexível, gerando-se projeções das trajetórias de crescimento setorial, sob a premissas dos cenários A2 e B2;
2. A seguir, no segundo estágio, estas projeções alimentam o modelo de demanda de energia, que, juntamente com o modelo de oferta de energia, produz cenários energéticos compatíveis com os cenários econômicos. Como resultado, temos trajetórias de utilização de “tipo de energia final”, por setor, proveniente do modelo de oferta de energia;

Com base nas novas trajetórias de intensidade energética setorial, procede-se à revisão das trajetórias de crescimento setorial, gerando-se cenários econômicos sem mudança climática e com a “nova” matriz energética.

Neste trabalho, utiliza-se ainda uma extensão microrregional do modelo EFES (EFES-REG), desenvolvida para geração das decomposições regionais dos resultados das simulações. Os coeficientes estruturais das microrregiões são utilizados (e atualizados a cada sub-período) nos processos de calibragem e re-calibragem do modelo. A obtenção destes coeficientes dá-se a partir de informações provenientes de uma matriz intermicrorregional de insumo-produto, desenvolvida no âmbito deste projeto – Diagrama 3.

Diagrama 3. Estratégia para geração de cenários regionais

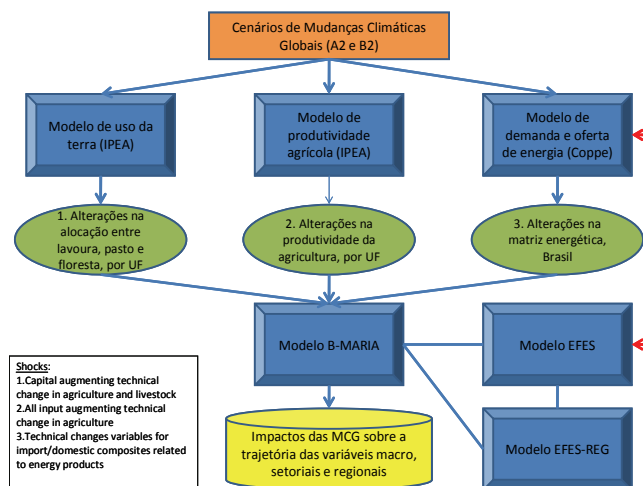


Uma vez estabelecidas as trajetórias de referência para a contextualização das magnitudes dos impactos (cenários A2 e B2 SMCG), o próximo passo é definir os desvios em relação a essas trajetórias proporcionados pelas MCG. Conforme ilustrado no Diagrama 4, abaixo, o modelo B-MARIA, integrado ao modelo EFES, permite que estes impactos sobre variáveis macroeconômicas, setoriais e regionais sejam calculados. Os subsídios de outros modelos, que alimentam os choques no modelo B-MARIA, são: (i) alterações na alocação entre lavoura, pasto e floresta, por UF; (ii) alterações nas produtividades de culturas agrícolas, por UF; e (iii) alterações na matriz energética brasileira. Uma vez traduzidos estes efeitos em mudanças em termos técnicos do modelo EGC, podemos proceder à estimativa dos impactos socioeconômicos das MCG.

Uma das principais características do modelo B-MARIA é o tratamento detalhado dos fluxos interestaduais na economia brasileira, especificando mercados de origem e

destino para as importações e exportações estaduais. O modelo B-MARIA divide a economia brasileira em 27 regiões, correspondentes aos 26 estados brasileiros e o Distrito Federal. Os dados utilizados para calibragem referem-se a 2004, sendo especificados 55 setores produtivos e de bens de investimento em cada região, produzindo 110 produtos. Os setores produtivos utilizam três fatores primários locais (terra, capital e trabalho). A demanda final é composta pelo consumo das famílias, investimento, exportações, consumo dos governos regionais e do governo federal. Os governos regionais são fontes de demanda e gasto exclusivamente locais, englobando as esferas estadual e municipal da administração pública em cada região.

Diagrama 4. Estratégia para avaliação de impactos de MCG



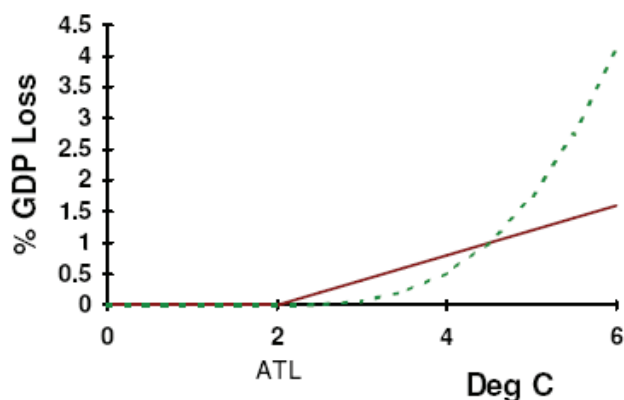
O módulo central do modelo espacial EGC é composto por blocos de equações que determinam relações de oferta e demanda, derivadas de hipóteses de otimização e condições de equilíbrio de mercado. Além disso, vários agregados regionais e nacionais são definidos nesse bloco, como nível de emprego agregado, saldo comercial e índices de preços. Uma característica própria do modelo B-MARIA, utilizado neste estudo, é a modelagem explícita de serviços de transporte e custos de movimentação de bens baseados em pares de origem e destino. Nesta versão do modelo, incluem-se ainda: (i) a possibilidade de retornos de escala na produção (esta extensão é essencial para espelhar adequadamente mecanismos de funcionamento de uma economia espacial); e (ii) a incorporação de ligações do modelo IEGC com um modelo de transporte georeferenciado, permitindo uma caracterização mais adequada da heterogeneidade do espaço econômico, em que se consideram, explicitamente, o papel da infra-estrutura de transportes e a fricção da distância.

Uma contribuição da análise de impacto neste artigo é portanto trabalhar explicitamente com a diferenciação regional da estrutura econômica brasileira, e, com os insumos de especialistas (energia e agricultura), tratar de maneira mais detalhada os impactos econômicos das mudanças climáticas em energia e na agropecuária. Na maior parte dos estudos de mudanças climáticas os impactos econômicos são projetados a partir de modelos geograficamente e setorialmente bastante agregados (por exemplo, 8 regiões mundiais e 2 setores, no caso do modelo PAGE2002 utilizado no *Stern Review*). Uma resenha recente de estudos sobre efeitos econômicos de mudanças climáticas (Tol, 2009) reconhece que a pesquisa em impactos regionais desse fenômeno é escassa, e que

com grande probabilidade os efeitos não serão homogêneos dentro de países, seja em regiões, setores ou grupos populacionais. O modelo EGC para o Brasil utilizado neste estudo diferencia cada um dos 27 estados, e a atividade econômica em 55 setores.

Outro fator importante é que diversos modelos sobre impactos econômicos de mudanças climáticas encontrados na literatura trabalham com algum tipo de “função de dano”, utilizada para transpor diretamente a elevação da temperatura em perda de atividade econômica (Figura 1). Qualquer modelo de impacto que utilize esse tipo de função gera, logicamente, um maior impacto econômico das mudanças climáticas quanto maior for a elevação da temperatura.⁶ Como esse é o caso do cenário A2 vis-a-vis o cenário B2, a análise com esse tipo de função implica que o cenário A2 tem impacto econômico negativo maior que o cenário B2. Entretanto, numa escala intra-nacional, a utilização deste tipo de função é pouco recomendável, dada a especificidade das condições física da produção agrícola, por exemplo.

Figura 1. Funções dano linear e cúbica no modelo PAGE2002



Fonte: Hope (2006)

3. DETALHAMENTO DOS CENÁRIOS A2 e B2 NO BRASIL

Para analisar os resultados referentes aos cenários A2 e B2 do IPCC, é útil primeiro discutir sumariamente a lógica destes cenários e como eles se comparam ao cenário A1. O cenário A2 vislumbra um mundo com diferenças. O crescimento econômico não ocorre de forma homogênea pelo mundo, e a distância entre a renda de países ricos e pobres pouco se estreita. As principais hipóteses do cenário A2 são menor fluxo de comércio, menor difusão de tecnologia, e menor ênfase nas interações econômicas entre regiões. As estruturas político-sociais também se diversificam. Em algumas regiões há um aumento do sistema de seguridade social, enquanto em outras o tamanho do estado se reduz e há mais desigualdade de renda.

O cenário B2 distingue-se do A2 principalmente quanto à preocupação com problemas do meio ambiente e sustentabilidade social. As políticas do governo e das empresas são

⁶ Não há consenso na literatura sobre a função-dano mais adequada, em geral predominam formas polinomiais quadráticas, que acentuam o dano econômico com a elevação da temperatura. Weitzman (2009) considera que o uso dessas funções deve-se basicamente à familiaridade com essa forma funcional, e pelo fato de outros economistas a terem utilizado anteriormente.

crecientemente influenciadas por indivíduos com consciência ambiental. As políticas visando igualdade social, educação e proteção ambiental ganham importância e tendem a ser implementadas por instituições locais, próximas às comunidades. As disparidades internacionais de renda decrescem um pouco mais do que no cenário A2.

Embora as diferenças em termos ambientais sejam marcantes entre os cenários A2 e B2, as diferenças de crescimento econômico entre estes dois cenários são modestas. A Tabela 1 mostra as taxas de crescimento médias para diversas regiões, segundo os cenários propostos. Note-se, em particular, que o grupo de regiões que inclui o Brasil apresenta taxas de crescimento levemente superiores no cenário B2. Em ambos os casos, os crescimentos são bem modestos.

Tabela 1. Intervalos para as taxas de crescimento do PIB (%) nos cenários do IPCC

Região	1950-1990	1990-2050		1990-2100	
		A2	B2	A2	B2
Países Industrializados	3.9	(1.0-2.1)	(1.4-1.8)	(1.0-1.7)	(1.1-1.4)
Países em Desenvolvimento	4.8	(3.5-4.4)	(3.7-5.0)	(3.3-3.6)	(3.3-3.7)
America Latina, Africa e Oriente Médio	4.0	(3.3-4.1)	(3.3-4.4)	(3.1-3.4)	(3.0-3.6)
Mundo	4.0	(1.7-2.8)	(2.1-2.9)	(2.0-2.3)	(2.0-2.3)

A mesma observação vale quando se observam as taxas de crescimento da economia mundial e da economia dos países industrializados, que são insumos importantes para o modelo EGD. Seguindo essa linha as hipóteses utilizadas para economia mundial são bastante similares nos cenários A2 e B2.

Além de cenários para a economia mundial, a utilização do modelo EGD demanda hipóteses sobre a evolução da distorção tributária e para o nível educacional médio da população. Para seguir a lógica dos cenários do IPCC, assume-se que a preocupação com educação é bem maior no cenário B2 do que no cenário A2. Em contrapartida, para conseguir recursos para investimentos em educação, o governo tem que ser maior no cenário B2, sendo a distorção tributária um fator mais restritivo ao crescimento no cenário B2 do que no cenário A2.

Outras hipóteses necessárias à criação do cenário são que (i) a economia dos EUA sofre desaceleração durante 2008, e que o crescimento começa a retornar de forma lenta aos patamares usuais a partir de 2010; (ii) a economia global também desacelera em 2008; (iii) ambas as economias dos EUA e mundial retornam às suas taxas usuais de crescimento, inflação e juros a partir de 2010 – Tabela 2.

Tabela 2. Hipóteses para o cenário mundial

	2009-35	2035-50	2050-100
A2			
PIB EUA (%)	2.6	2.0	1.4
PIB Mundo (%)	2.8	2.2	2.0
B2			
PIB EUA (%)	2.4	1.8	1.3
PIB Mundo (%)	3.0	2.5	2.1

Com relação às hipóteses sobre os choques monetários e de risco, contempla-se (i) uma reversão a valores baixos de inflação e de juros reais; (ii) redução do endividamento público e do prêmio de risco; (iii) estabilização da inflação em um patamar de 4,5% ao ano até 2035, reduzindo-se a partir daí para alinhar-se com os padrões internacionais. O mesmo acontece com os juros reais, que aos poucos convergem aos juros reais internacionais – Tabela 3.

Tabela 3. Choques monetário e de risco

	2008-35	2035-50	2050-100
Juro Nominal (Selic, %)	10.5	9.0	7.5
Inflação (IPCA, %)	4.5	4.0	3.5
Juro Real (%)	6.0	5.0	4.0

O conceito e hipóteses feitas sobre os choques de produtividade são utilizadas. De forma simplificada, supõe-se que a produtividade (ou seja, o resíduo não explicado por capital e trabalho) depende de (i) capital humano, o qual é medido através do nível educacional médio; (ii) incentivos tributários e de logística ao acúmulo de capital produtivo, determinados pela carga tributária e investimento público; e (iii) aspectos institucionais que afetam a alocação de recursos da economia e a qualidade das práticas econômicas. Para mensurar a qualidade destes aspectos institucionais, utiliza-se um coeficiente que mede a influência do marco institucional (burocracia, ineficiência da justiça, corrupção, restrições comerciais e competição internacional) sobre a captura das melhores práticas produtivas mundiais.

Projeta-se o capital humano utilizando dados sobre crescimento populacional e de evolução da cobertura dos diferentes níveis educacionais. Segundo a lógica dos cenários do IPCC, supõe-se que o cenário B2 apresente maiores avanços nos padrões educacionais do que o cenário A2.

O perfil temporal da distorção à acumulação de capital é determinado pelas evoluções da carga tributária e dos investimentos públicos. A repartição das despesas públicas entre transferências, gastos do governo, investimento público e superávit primário são feitas adotando-se proporções consistentes com aquelas observadas no passado recente. Para que sejam consistentes com os cenários do IPCC considera-se que o cenário B2 apresenta maiores gastos com educação do que o A2 e assim, segundo o comportamento usual das finanças públicas brasileiras, que o cenário B2 apresente cargas tributárias mais elevadas que A2. As hipóteses sobre o perfil temporal da carga tributária implica

numa trajetória descendente: cerca de 35% em 2008 para 29% (cenário A2) e 32% (cenário B2) em 2100.

Alimentando-se o modelo EGD com os choques monetários, de risco e de produtividade (política fiscal) discutidos, obtêm-se os cenários explicitados na Tabela 4. Para efeito de análise, focaliza-se a atenção principalmente sobre as projeções para crescimento do PIB e do consumo. O PIB – o indicador mais importante da economia – crescerá em média 3,3% e 3,6% ao ano, respectivamente nos cenários A2 e B2, no período completo de 2008 a 2100, sendo que até 2050, as taxas médias de crescimento serão superiores⁷. Em relação ao consumo real das famílias, percebe-se, em ambos os cenários, crescimento a taxas superiores ao PIB, no período 2008-2050, com exceção do período 2035-2050 no cenário B2.

Tabela 4. Síntese dos cenários macroeconômicos: 2008-2050 (variação real anual)

	Cenário A2		Cenário B2	
	2008-2035	2035-2050	2008-2035	2035-2050
PIB	4.20%	3.77%	4.24%	3.95%
Consumo real	4.72%	3.81%	4.68%	3.91%

3.1 CENÁRIO SETORIAL

As hipóteses utilizadas para a construção do cenário setorial, implementado no âmbito do modelo EFES, podem ser divididas em quatro grupos, a saber: (i) tecnologia e preferências; (ii) exportações; (iii) investimentos tendenciais; e (iv) demografia.

A definição dos choques de tecnologia e de preferência baseou-se em componentes recentes relacionados a alterações estruturais ora percebidas nos ambientes gerenciais das firmas, nas tecnologias de produção e na estrutura de gastos das famílias, obtidos de simulações históricas, e algumas tendências levantadas em outros estudos realizados pela FIPE. Os choques tem magnitudes consistentes com a experiência internacional.

Para a definição dos choques de exportação, considerou-se quatro componentes determinantes da trajetória de exportação dos 110 produtos do modelo: (i) crescimento tendencial das exportações de grandes grupos de bens com base em extrapolação de séries históricas; (ii) trajetória exógena da renda mundial (EIU); (iii) formação de blocos de comércio; e (iv) variação da exportação total dada pelo modelo macroeconômico.

Na construção dos vetores de choque sobre a tendência dos investimentos foi utilizada a tendência recente da distribuição setorial dos investimentos, baseada em informações sobre investimentos setoriais anunciados para o período 2006-2015, em levantamento feito em outros estudos setoriais regionalizados da FIPE, além de ter sido aplicado um

⁷ Para ganhar sensibilidade, é útil comparar esses valores com a média do crescimento nos últimos dez anos, de 2,8%, e nos últimos vinte anos, de 2,4%. Este resultado é principalmente devido à redução das distorções tributárias e da elevação do capital humano, que levam ao aumento da produtividade.

mecanismo de aceleração inter-temporal considerando o crescimento de cada setor no período anterior.

Finalmente, o cenário demográfico utilizado mostra um padrão declinante do crescimento populacional caracterizado por (i) diminuição lenta, mas progressiva das taxas de mortalidade geral e infantil, (ii) drástica redução nas taxas de fecundidade em todas as regiões e estratos sociais, sem a ocorrência de uma política de controle da natalidade no País, (iii) maior participação relativa dos idosos, e (iv) alterações na pirâmide demográfica – com o topo se alongando e dilatando, a base se contraindo, e as faixas centrais aumentando sua expressão relativa.

A seguir apresentam-se os resultados da trajetória do crescimento setorial esperado para as próximas décadas na economia brasileira, no contexto dos cenários A2 e B2. A pergunta chave que se coloca é a seguinte: em um ciclo de crescimento da economia brasileira, sustentado por taxas de crescimento relativamente mais modestas em relação às prevalecentes nos períodos de expansão do pós-guerra, quais seriam os principais setores responsáveis pelo dinamismo da economia?

Como visto na seção anterior, projeta-se uma taxa de crescimento em torno de 4% a.a. entre 2008 e 2050. Decompondo os resultados por setores de atividade, observa-se que em termos macro-setoriais haverá uma continuidade do processo de terciarização da economia brasileira, uma vez que o setor de serviços apresenta ganhos consistentes de participação no PIB nacional (Tabela 5).

Tabela 5. Síntese das mudanças estruturais setoriais: 2008-2050 (% PIB)

	Cenário A2	Cenário B2
Agropecuária	0,05	-0,44
Indústria	-0,97	-1,24
Serviços	0,92	1,67

3.2 CENÁRIO REGIONAL

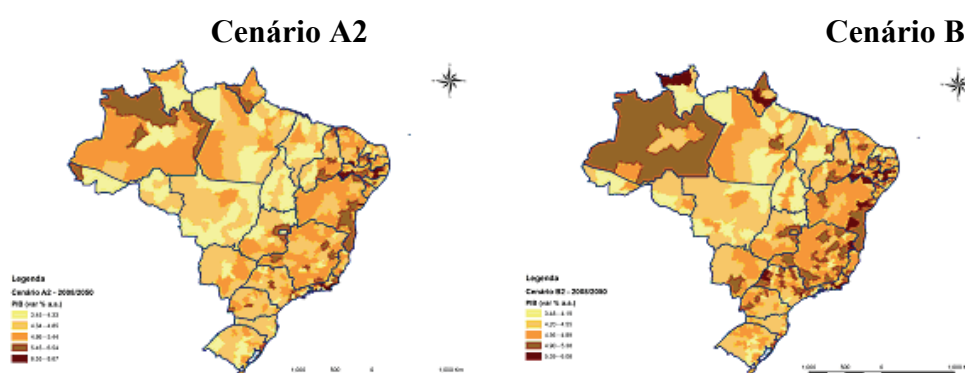
Nesta seção, discutem-se os aspectos regionais da evolução dos valores de PIB, população e PIB per capita projetada pelo modelo para o período 2008 a 2050. Embora se tenha gerado informações por microrregião, a análise deste texto concentrar-se-á nos estados e macro-regiões oficiais considerando duas dimensões: a concentração espacial, que se refere à distribuição da atividade no espaço, e a desigualdade regional, em termos de PIB per capita.

Os rebatimentos espaciais dos cenários de referência são relativamente “conservadores” do ponto de vista da concentração produtiva macro-regional (Tabela 6). Sugerem, contudo, mudanças relevantes dentro das macro-regiões e nos dos Estados (Figura 2), com uma redução da concentração espacial da atividade econômica nos cenários A2 e B2. Dentre os principais resultados, comuns em ambos os cenários, observa-se: a desconcentração espacial da atividade econômica, notadamente a partir de São Paulo e Rio de Janeiro, a interiorização do crescimento, com perda relativa das metrópoles mais acentuada no cenário A2, a perda de posição relativa do Distrito Federal pela redução do “tamanho” do Governo (cenário A2), e o fortalecimento do papel de centros médios.

Tabela 6. Síntese das mudanças estruturais regionais: 2008-2050 (% PIB)

	Cenário A2	Cenário B2
Norte	0,21	0,30
Nordeste	0,78	0,81
Sudeste	-0,20	-0,47
Sul	-0,08	-0,33
Centro-Oeste	-0,71	-0,32
Metrópoles	-3,10	-1,54

Figura 2. Crescimento do PIB microrregional – (variação real anual – % a.a.)



Em termos de desigualdade regional, os cenários apontam para um aumento das disparidades, com a dispersão do PIB per capita das macro-regiões, tanto em A2 quanto em B2, favorecendo o Sul-Sudeste e as grandes aglomerações urbanas (Tabela 7).

Tabela 7. Relação entre PIB per capita regional e PIB per capita nacional, 2008-2050

	Cenário A2		Cenário B2	
	2008	2050	2008	2050
Norte	0,63	0,51	0,62	0,52
Nordeste	0,45	0,45	0,45	0,45
Sudeste	1,32	1,46	1,32	1,46
Sul	1,23	1,30	1,23	1,28
Centro-Oeste	1,26	1,00	1,27	1,05
Metrópoles	2,43	2,46	2,43	2,53

Estes cenários sobre a economia trazem implicações relevantes para as emissões brasileiras projetadas de GEE. É oportuno fazer aqui uma pequena digressão, considerando a tecnologia de emissões existente para projetar as emissões futuras. Ao considerarmos os coeficientes de emissão constantes, captamos apenas os efeitos estruturais (e de escala) da atividade econômica sobre emissões de CO₂. Este exercício simples chama a atenção para algumas das implicações ambientais do processo de desenvolvimento futuro de nossa economia.

Considerando-se as taxas de crescimento setoriais projetadas nos dois cenários e a tecnologia atual de emissões, atingiríamos em 2050 (excluindo-se aquelas provenientes dos desmatamentos) um nível de emissões mais de seis vezes superior ao verificado em 2004 (Figura 11). As emissões em 2050 seriam praticamente as mesmas nos cenários A2 e B2. A diferença é que o cenário B2, apesar de apresentar taxas de crescimento mais elevada, apresenta também uma evolução setorial mais “limpa”, compensando o efeito escala com os efeitos estruturais (composição setorial).

É interessante notar que os dois cenários apresentam taxas de crescimento das emissões decrescentes, de 4,7% a.a. em 2010 para 3,5% a.a. em 2050, com um ritmo de desaceleração superior ao ritmo de desaceleração das taxas de crescimento do PIB, o que revela elasticidades implícitas das emissões em relação ao crescimento do PIB decrescentes ao longo do tempo, saindo de 1,05 entre 2004/2010 para 0,90 entre 2040.2050

Este é o efeito de um processo de desenvolvimento econômico estruturalmente mais “limpo”. Se considerarmos uma categorização setorial baseada em valores dos coeficientes de emissão do módulo ambiental, pode-se definir 20 setores “poluidores” (com emissões diretas relevantes) e 35 setores “limpos (sem emissões diretas relevantes). Ao se analisar as taxas de crescimento destes dois grupos de setores nos dois cenários, percebe-se que os setores “limpos” apresentam maior dinamismo, aumentando sistematicamente sua participação no PIB nacional (Tabela 8).

Tabela 8. Crescimento dos setores “poluidores” e dos setores “limpos” 2008-2050

	Cenário A2		Cenário B2	
	2008	2050	2008	2050
Setores poluidores	51,1%	49,6%	51,1%	49,4%
Setores limpos	48,9%	50,4%	48,9%	50,6%

Este efeito estrutural, contudo, não é suficiente para compensar o efeito escala associado ao aumento do nível de atividade econômica no período. O efeito estrutural nacional seria responsável por uma redução de 3.3% (A2) e 5.9% (B2) nas emissões em 2050, mas o nível das emissões, devido ao efeito escala, já seria bastante elevado em relação ao de hoje. Considerando-se as emissões per capita, sob a hipótese de coeficientes setoriais de emissão constantes, o Brasil apresentaria, em 2050, valores em torno de 22,5-22,8 tCO₂, próximos aos valores verificados para a economia dos EUA, em 2002; já em 2035, as emissões per capita brasileiras seriam equivalentes às emissões médias de países da OECD em 2002 (Tabela 9).

Tabela 9. Projeção de emissões per capita: Brasil, tCO₂

Ano	Cenário A2	Cenário B2
2008	5.6	5.6
2035	13.7	13.7
2050	22.5	22.8

Referências para 2002: Estados Unidos 20,4; União Européia 9,4; OECD 11,7; e China 3,0

3.3 IMPACTOS NOS SETORES AGRÍCOLAS E DE ENERGIA DE MCG – CENÁRIOS A2 E B2 CMCG

A estrutura de choques implementados nas simulações, conforme destacado anteriormente no Diagrama 4, define como os efeitos das mudanças climáticas impactam nos cenários estabelecidos.. Os choques das MC afetam setores de agricultura e pecuária, via modelo de uso da terra e modelo de produtividade agrícola, e energia⁸, apresentados na Tabela 10. A correlação entre os choques A2 e B2 é bastante elevada (acima de 0,98) para os três grupos de choques, e não há uma relação entre A2 e B2 no sentido dos choques estaduais serem sempre maiores. Para “Pasto”, em 21 estados o cenário A2 tem maiores variações que o B2, e para “Lavoura”, em 10 estados o cenário A2 tem maiores taxas (positivas). No caso de “Lavoura”, verifica-se que os choques são positivos no Norte e negativos no Nordeste, sendo positivos também no Sul. Para “Pasto”, os choques são positivos, com exceção dos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul. O padrão macro-regional dos choques pode ser descrito da seguinte forma: no Nordeste os choques são negativos e em geral maiores em A2 do que em B2; no Sul e Sudeste, choques positivos e maiores em B2 (no Sudeste); no Sul, choques positivos, um pouco maiores em A2 e choques negativos no MS e MT.

Tabela 10. Variação dos choques no setor agrícola, cenários A2 e B@ 2004/2050 (% aa)

Estado	Lavoura (var % área 2004/50)			Pasto (var % área 2004/50)			Produtividade da Agricultura (var % 2004/50)		
	A2	B2	A2/B2	A2	B2	A2/B2	A2	B2	A2/B2
RO	0.103	0.120	0.86	0.024	-0.042	-0.57	-0.179	-0.231	0.78
AC	0.142	0.140	1.02	0.323	0.273	1.18	0.225	0.202	1.11
AM	0.142	0.140	1.02	0.323	0.273	1.18	0.031	0.023	1.32
RR	0.142	0.140	1.02	0.323	0.273	1.18	-1.494	-1.645	0.91
PA	0.488	0.476	1.03	0.251	0.198	1.27	-0.077	-0.080	0.96
AP	0.142	0.140	1.02	0.323	0.273	1.18	-0.041	-0.041	1.01
TO	-0.989	-1.001	0.99	0.856	0.829	1.03	0.015	-0.157	-0.10
MA	-0.575	-0.600	0.96	0.522	0.509	1.03	-1.256	-1.368	0.92
PI	-0.478	-0.548	0.87	0.429	0.407	1.05	-0.483	-0.542	0.89
CE	-0.411	-0.486	0.84	0.384	0.375	1.02	-1.353	-1.253	1.08
RN	-0.080	-0.354	0.23	1.301	1.376	0.95	-0.867	-0.828	1.05
PB	-0.405	-0.423	0.96	0.272	0.272	1.00	-1.335	-1.307	1.02
PE	-0.392	-0.408	0.96	0.240	0.133	1.81	-0.895	-0.870	1.03
AL	-8.668	-8.668	1.00	0.618	0.580	1.06	-0.601	-0.480	1.25
SE	-2.121	-2.177	0.97	0.688	0.662	1.04	-0.006	0.022	-0.28
BA	-0.778	-0.836	0.93	0.757	0.740	1.02	0.304	0.303	1.00
MG	-0.045	0.180	-0.25	0.227	0.160	1.42	0.133	0.173	0.77
ES	-2.198	-1.769	1.24	0.591	0.566	1.04	0.100	0.104	0.96
RJ	-0.134	-0.118	1.14	0.238	0.236	1.01	0.356	0.384	0.93
SP	0.637	0.584	1.09	-0.182	-0.148	1.22	1.084	1.131	0.96
PR	1.005	0.932	1.08	-0.277	-0.232	1.20	0.891	0.960	0.93
SC	0.474	0.324	1.46	0.039	0.154	0.26	0.439	0.364	1.21
RS	0.083	0.042	1.99	0.212	0.293	0.72	0.860	0.784	1.10
MS	0.288	0.272	1.06	-0.051	-0.036	1.40	-1.247	-1.139	1.10
MT	-0.059	-0.024	2.46	0.180	0.134	1.34	-1.966	-2.085	0.94
GO	-0.566	-0.635	0.89	0.315	0.317	0.99	0.119	0.114	1.05
DF	-0.172	-0.181	0.95	0.292	0.295	0.99	-0.285	-0.161	1.77

Em relação aos choques do modelo de energia, destaca-se que no cenário A2: (i) aumenta o uso de derivados na indústria extrativa, especialmente de 2030 a 2035; (ii) cimento e metalurgia dos metais não-ferrosos aumentam o uso de derivados de forma significativa; (iii) todos os setores de bens de capital e equipamentos aumentam o uso de derivados; (iv) o uso de gás natural cai em todos os setores: -3.12% entre 2020 e

⁸ O modelo agrícola e da pecuária foi desenvolvido no IPEA-RJ. As mudanças na matriz energética decorrentes das MC foram elaborados pela Cope-UFRJ. Estes estudos estão disponíveis em <http://www.economiadoclima.org.br>.

2030 e -1.1% de 2030 a 2035; (v) o uso de eletricidade cresce de forma moderada, menos de 1%, nos setores de serviços.

O cenário B2 mantém a distribuição setorial acima, mas é menos intenso. O ritmo de crescimento do uso de derivados é cerca de 10% menor do que em A2, de 2020 a 2030. O mesmo acontece em relação ao gás natural: o cenário B2 tem quedas de uso em todos os setores de -2.86% de 2020 a 2030 e -11,1% de 2030 a 2035 (praticamente idêntica a A2). O uso de eletricidade nos setores de serviços cresce marginalmente (0,48% e 0,64% nos dois períodos), a taxas inferiores às do cenário A2.

Esse conjunto regionalmente heterogêneo de choques não permite afirmar, a priori, que os impactos negativos totais das mudanças climáticas no cenário A2 serão superiores a B2. Ao contrário, a distribuição dos choques sugere que o cenário A2 pode ser de menor impacto nacional, uma vez que a agropecuária nos estados do Sul e Sudeste é menos afetados e até beneficiados nesse cenário, relativamente a B2. Uma análise preliminar indicaria que é necessário observar a estrutura produtiva de cada região, sua dependência da atividade agropecuária, seus diferenciais de produtividade, a intensidade de utilização de insumos e as possibilidades de substituição, a dependência dos mercados externo e doméstico como destino da produção, entre outros fatores. A vantagem da utilização de um modelo EGC regional é que estes fatores são levados em consideração de maneira explícita e consistente, tanto em termos teóricos como empíricos. Na próxima seção os impactos destas alterações serão projetados.

4. IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nesta seção discutem-se os resultados das simulações feitas para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre a economia brasileira, com foco sobre os efeitos macroeconômicos, setoriais e regionais.

4.1. IMPACTOS MACROECONÔMICOS

Estima-se uma perda permanente, da ordem de 0,5% (cenário A2) e 2,3% (cenário B2) do PIB brasileiro, em 2050, em comparação com o que poderia ser em um mundo sem mudanças climáticas. Estas perdas tendem a aumentar ao longo do tempo, à medida que os efeitos de MCG se intensifiquem.

Do ponto de vista de bem-estar da população brasileira, estimam-se efeitos ainda mais fortes. O consumo real projetado para 2050 seria 1,1% (A2) e 3,4% (B2) inferior ao projetado na ausência de MCG. No caso do cenário B2, por exemplo, este efeito equivale a uma redução anual da ordem de US\$ 200 bilhões (valores de 2008) no consumo das famílias brasileiras em 2050 – Tabela 11.

Tabela 11. Síntese dos custos macroeconômicos das MGC no Brasil

	Cenário A2		Cenário B2	
	2035	2050	2035	2050
PIB	-0.3%	-0.5%	-1.5%	-2.3%
Consumo real	-0.5%	-1.1%	-1.6%	-3.4%

PIB e consumo real ambos em comparação com o projetado sem MCG

Em termos per capita, os efeitos das MCG reduziram os gastos médios anuais dos cidadãos brasileiros, em 2050, no cenário B2, em uma quantia equivalente a R\$ 1.603 ou US\$ 874 (valores de 2008) e R\$ 534 (US\$ 291), no cenário A2 (Tabela 12).

Tabela 12. Impactos agregados das MGC – (em R\$ de 2008)

Cenário A2

	2008	SMCG		CMGC	
		2035	2050	2035	2050
PIB*	2,892,335	8,788,062	15,323,707	8,763,749	15,245,414
PIB/capita	15,527	38,408	64,559	38,302	64,229
Consumo das famílias*	1,851,529	6,437,578	11,276,836	6,405,218	11,150,200
Consumo/capita	9,887	28,214	47,509	28,072	46,976

* em milhões

Cenário B2

	2008	SMCG		CMGC	
		2035	2050	2035	2050
PIB*	2,892,857	8,946,708	16,012,563	8,813,916	15,650,746
PIB/capita	15,530	39,102	67,461	38,521	65,937
Consumo das famílias*	1,847,839	6,350,827	11,294,264	6,251,082	10,913,731
Consumo/capita	9,867	27,834	47,583	27,397	45,979

* em milhões

SMCG – sem mudanças climáticas globais

CMGC – com mudanças climáticas globais

Pode-se utilizar os resultados das simulações para projetar o fluxo marginal de consumo na economia, no período 2008-2050. Se trouxermos a valor presente todas as diferenças de consumo até 2050, teremos uma noção dos custos das MGC, sob um enfoque alternativo de bem-estar. Calculamos este valor presente usando um leque amplo de taxas de desconto – 0,1% a 6,0% a.a. As estimativas são reportadas na Tabela 13, que destaca o VP dos fluxos marginais do consumo das famílias para taxas de desconto selecionadas, além de um indicador de custo per capita. Assim, se os custos de MGC no Brasil até 2050 fossem antecipados para hoje, a uma taxa de desconto intertemporal de 0,5 a 1,0% a.a., cada cidadão brasileiro teria que abrir mão de aproximadamente R\$ 6.000,00 (cenário A2) a R\$ 18.000,00 (cenário B2), o que hoje representaria de 60% a 180% do seu consumo anual.

Tabela 13. Valor presente dos fluxos marginais de consumo associados a MCG

		Taxas de desconto				
		0,1%	0,5%	1,0%	3,0%	6,0%
Consumo da famílias*	Cenário A2	-1.407.590	-1.235.102	-1.051.312	-566.640	-243.864
	Cenário B2	-4.275.409	-3.752.895	-3.195.987	-1.726.202	-745.564
Consumo/capita	Cenário A2	-7.557	-6.631	-5.644	-3.042	-1.309
	Cenário B2	-22.952	-20.147	-17.157	-9.267	-4.003

* em milhões

Valores em Reais de 2008.

4.2. IMPACTOS SETORIAIS E REGIONAIS

O Brasil apresenta grande heterogeneidade interna entre seus diversos espaços econômicos. Destarte, os impactos das mudanças climáticas não serão distribuídos de maneira uniforme, atingindo diferentemente seus vários setores e regiões. Do ponto de vista setorial, a agricultura apresenta-se como setor econômico diretamente mais sensível ao clima. A produção apresentaria uma queda permanente, equivalente a aproximadamente 3.6% (A2) e 5.0% (B2) em 2050. Setores ligados diretamente ao consumo das famílias também seriam negativamente afetados, devido à queda não desprezível no consumo real, notadamente setores produtores de bens de consumo duráveis.

Alguns setores seriam beneficiados devido a mudanças na matriz energética. Setores ligados à cadeia produtiva do petróleo seriam os mais beneficiados. Em termos de macro-setores, é evidente a maior sensibilidade da agropecuária, com impactos relativos bem maiores que os percebidos pela indústria e por serviços (Tabela 14).

Tabela 14. Síntese dos custos setoriais das MGC no Brasil^a (% do PIB setorial)

	Cenário A2		Cenário B2	
	2035	2050	2035	2050
Agropecuária	-1.7%	-2.5%	-2.9%	-4.5%
Indústria	-0.2%	-0.3%	-1.3%	-2.0%
Serviços	-0.1%	-0.4%	-1.4%	-2.1%

a – em comparação com os respectivos PIBs setoriais projetados sem MCG

Os resultados obtidos apontam que o principal impacto das mudanças climáticas é a ameaça maior às regiões mais pobres do País. Sob a ótica regional, pode-se concluir que as MCG são concentradoras (Tabela 15) e intensificam as desigualdades regionais no Brasil (Tabela 18 adiante). Os custos em termos de PIB regional são maiores nas regiões mais pobres do País e se intensificam com o tempo.

Tabela 15. Síntese dos custos regionais das MGC no Brasil^a (% do PIB regional)

	Cenário A2		Cenário B2	
	2035	2050	2035	2050
Norte	-0.7%	-1.2%	-2.1%	-3.1%
Nordeste	-1.0%	-1.6%	-2.1%	-2.9%
Sudeste	-0.3%	-0.6%	-1.5%	-2.4%
Sul	1.3%	2.0%	0.0%	0.0%
Centro-Oeste	-1.8%	-3.0%	-3.0%	-4.5%

a – em comparação com os respectivos PIBs regionais projetados sem MCG

A Tabela 15 sugere que em ambos os cenários a região Centro-Oeste é a que apresenta maiores custos, chegando a 4,5% do PIB em 2050 no cenário B2. Neste mesmo cenário, estima-se uma perda permanente em 2050 de 3.1% do PIB regional para a região Norte, 2,9% para o Nordeste e 2,4% para o Sudeste, em comparação com o que poderia ser em um mundo sem mudanças climáticas. No caso da região Sul, que se beneficia em ambos cenários, os ganhos são bem mais significativos no cenário A2 (2,0% do PIB regional, em 2050). Estes resultados sugerem que nem todas as regiões “perdem” com as MCG, gerando potenciais incentivos distintos entre os estados federativos, e a consequente necessidade de se levarem em conta as diferenças regionais na elaboração de políticas relativas à mitigação e adaptação.

Esta situação torna-se mais evidente ao se analisarem os custos/benefícios estaduais das MCG (Tabela 16). Consideremos, a título de exemplo, o cenário B2 e o ano de referência de 2050. Enquanto alguns Estados apresentam custos bastante elevados, como Mato Grosso (11,1% do PIB estadual), Alagoas (7.6%), Maranhão (7,0%), Piauí (5,5%), Mato Grosso do Sul (5,2%), outros Estados se beneficiam com as MCG, apresentando ganhos da ordem de 1,7% do PIB estadual (Sergipe), 0,8% (Paraná) e 0,6% (Rio Grande do Sul).

Tabela 16. Custos estaduais das MGC no Brasil^a

Estado	2035			2050		
	A2	B2	A2/B2	A2	B2	A2/B2
RO	-0.9%	-2.7%	0.33	-1.7%	-4.1%	0.41
AC	-0.2%	-1.5%	0.11	-0.5%	-2.1%	0.23
AM	-0.6%	-2.3%	0.26	-1.0%	-3.2%	0.31
RR	-1.1%	-2.6%	0.43	-1.8%	-3.6%	0.51
PA	-0.6%	-1.7%	0.35	-1.1%	-2.5%	0.43
AP	-0.1%	-2.0%	0.03	-0.4%	-3.1%	0.14
TO	-1.6%	-2.8%	0.55	-2.7%	-4.3%	0.62
MA	-3.8%	-5.0%	0.76	-5.5%	-7.0%	0.78
PI	-0.8%	-3.6%	0.23	-1.3%	-5.5%	0.23
CE	-1.6%	-3.1%	0.52	-2.7%	-4.4%	0.62
RN	-0.8%	-2.5%	0.30	-1.4%	-3.6%	0.37
PB	-1.6%	-2.7%	0.60	-2.6%	-1.1%	2.40
PE	-0.8%	-2.6%	0.30	-1.4%	-4.1%	0.33
AL	-6.2%	-6.5%	0.96	-8.2%	-7.6%	1.08
SE	-0.5%	1.2%	-0.44	-1.0%	1.7%	-0.56
BA	0.2%	-0.3%	-0.59	0.1%	-0.7%	-0.15
MG	-0.5%	-1.7%	0.32	-1.0%	-2.7%	0.37
ES	-2.4%	-3.0%	0.81	-3.6%	-4.5%	0.80
RJ	0.2%	-0.9%	-0.19	0.1%	-1.4%	-0.09
SP	-0.3%	-1.6%	0.18	-0.5%	-2.5%	0.21
PR	1.8%	0.5%	3.57	2.9%	0.8%	3.50
SC	0.1%	-1.6%	-0.09	0.2%	-2.5%	-0.07
RS	1.5%	0.4%	3.72	2.3%	0.6%	3.70
MS	-2.1%	-3.3%	0.63	-3.5%	-5.2%	0.67
MT	-6.7%	-7.7%	0.87	-9.9%	-11.1%	0.90
GO	-0.3%	-1.8%	0.15	-0.7%	-3.1%	0.23
DF	0.1%	-1.2%	-0.10	-0.2%	-1.8%	0.12

a - em % do PIB estadual projetado sem MCG

As perdas apontadas acima representam, para parte significativa dos Estados, o equivalente a mais de dois anos de crescimento projetado, ou seja, é como se os efeitos de MCG paralisassem, na margem, o crescimento econômico em algumas regiões, no período analisado, por mais de 24 meses.

Os efeitos das MCG sobre desigualdades regionais são sintetizados na Tabela 17, que apresenta o coeficiente de variação de Williamson⁹ nos cenários A2 e B2, considerando-se as situações SMCG e CMCG. Os resultados sugerem que as MCG reforçam a desigualdade regional no País, com os valores dos cenários CMCG sempre superiores aos dos cenários SMCG.

Tabela 17. Indicador de desigualdade regional (coeficiente de variação de Williamson)

	2008	Cenário A2		Cenário B2	
		2035	2050	2035	2050
SMCG	0.460	0.498	0.525	0.518	0.547
CMCG	0.460	0.502	0.532	0.522	0.553

SMCG – sem mudanças climáticas globais, CMCG – com mudanças climáticas globais

Em termos de realocização de atividades, os resultados mostram que a atividade agrícola sofre um deslocamento para a faixa que compreende os estados de SP-PR-SC-RS. Nessa região ocorre um ganho de 9,5 pontos percentuais no cenário A2, e 8,8 pontos percentuais no cenário B2, em 2050. As maiores perdas ocorrem nos estados de Mato Grosso do Sul, Espírito Santo e Maranhão. Minas Gerais ganha participação agrícola no cenário B2.

Os resultados obtidos das simulações mostram um impacto negativo das mudanças climáticas para o Brasil em ambos os cenários. Assim, o Brasil não se beneficia em termos de impacto econômico de nenhum dos dois cenários de mudanças climáticas. Os resultados revelam ainda que o impacto do cenário B2 seria mais negativo do que o cenário A2. Esse resultado reflete, basicamente, a distribuição regional dos choques. Ao beneficiar a região Sul do país relativamente ao Nordeste e Centro-Oeste, o cenário A2 acaba causando um impacto negativo menor do que o cenário B2, no qual este efeito não acontece de forma tão intensa. Entretanto, o cenário A2 é pior para o Brasil em termos de desigualdade regional, pois tende a acentuar a pobreza no Nordeste e a concentração de riqueza nas regiões Sul e Sudeste. Este é um impacto das mudanças climáticas pouco analisado na literatura, e que as estimativas obtidas deixam bastante claro: o Brasil em um cenário de mudanças climáticas se mostra mais desigual regionalmente, e quanto mais intensa a mudança climática maior o impacto nas regiões menos desenvolvidas e mais pobres do país.

5. CONCLUSÕES

Este estudo mostrou claramente que os impactos macroeconômicos das MCG serão substantivos. Para 2050, o PIB brasileiro será menor entre 0,5% (A2) e 2,3% (B2); o consumo das famílias será menor entre 1,1% (A2) e 3,4% (B2). Em termos monetários

⁹ O coeficiente de variação de Williamson mede as diferenças do PIB per capita de cada Estado em relação ao PIB per capita do País, ponderadas pelas respectivas participações relativas no total da população brasileira. O seu valor varia de 0,0 (perfeita igualdade inter-regional) a 1,0 (perfeita desigualdade inter-regional).

agregados, esse efeito atingirá USD 200 milhões, em 2050, em valores de 2008. Em termos per capita, haveria uma perda para o cidadão médio brasileiro entre BRL 534 ou USD 291 (A2) e BRL 1.603 ou USD 874 (B2). O valor presente em 2008 das reduções em consumo dos brasileiros estará entre R\$ 6.000,00 (A2) a R\$ 18.000,00 (B2), representando de 60% a 180% do seu consumo anual atual. Ademais, as MCG aumentam a concentração da atividade no espaço e reforçam as desigualdades regionais e sociais; reduzem o bem-estar nas áreas rurais gerando pressões potenciais sobre as aglomerações urbanas, embora haja setores e regiões que se beneficiarão do processo. Destaca-se também a ameaça das MCG às regiões mais pobres do País, com predominância dos efeitos perversos nas áreas rurais.

Esse é o montante do qual um brasileiro médio terá de abrir mão, pelo fato de haver mudanças climáticas. Como se sabe, essa é uma estimativa conservadora, pois não incorpora uma série de outras conseqüências do aquecimento global. É uma das muitas aproximações possíveis do impacto das mudanças climáticas sobre nossos cidadãos. Custo esse que será incorrido na hipótese de nenhuma providência ser tomada a respeito das causas dessas mudanças. Está claro que uma parcela substantiva delas ultrapassa as fronteiras do País, não sendo adequado falar-se em políticas públicas nacionais para delas tratar. Mas uma parcela importante delas tem origem no território nacional e ocorre em função da maneira como tem ocorrido nosso desenvolvimento. Isso posto, é necessário mudar procedimentos para que nossa contribuição à formação das mudanças seja diminuída. E os custos apontados no parágrafo anterior indicam que vale a pena fazê-lo.

O quadro exige um conjunto harmônico de medidas de regulamentação e incentivos econômicos. No âmbito destes últimos, é necessário desenhar um plano de reconversão ambiental das atividades econômicas. Considere-se o caso da pecuária, normalmente associada à ocupação de áreas de florestas. Segundo estudos técnicos, é possível aumentar a produtividade dessa atividade de maneira significativa, o que levaria a uma demanda muito menor por área para sua expansão. Ainda que a tecnologia esteja disponível, e que haja algumas experiências concretas, o conjunto de sinais econômicos para os agentes produtivos não indica nessa direção. Assim, é necessário montar programa específico que compatibilize financiamento, estímulos de preços e regulamentação (certificação de produto, imposição de tarifas em certas áreas, etc.). Um exemplo importante de sucesso é o Proálcool, muito controverso na sua infância e atualmente reconhecido como um caso bem sucedido. Associado a ele, a recente proibição da queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo atua como um instrumento de regulamentação coerente. O mesmo pode ser aplicado a outros setores poluentes.

Dado que os efeitos incidirão diferencialmente no espaço, requer-se a adaptação dos fundos de financiamento regionais para incorporar a dimensão ambiental, assim como de alinhamento das políticas de desenvolvimento estaduais e municipais. Isso precisa ser feito muito mais intensamente do que hoje, com escolha de setores relevantes e linhas de crédito diferenciadas aos setores problemáticos em cada região. Isso deve vir associado a programas de desenvolvimento tecnológico desenhados pelos governos estaduais ou locais, com oferecimento de soluções técnicas alternativas para os produtores tradicionais, acima e além do necessário financiamento favorecido. Neste sentido, pode-se pensar em políticas regionais compensatórias visando à promoção do crescimento verde.

Já há no Brasil mecanismos previstos neste sentido, em que ocorrem transferências de recursos das regiões mais ricas para as menos favorecidas. Atualmente, existem três fundos constitucionais de financiamento destinados às regiões menos desenvolvidas do País – Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) e Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO) – cuja responsabilidade pela concessão de empréstimos recai sobre três bancos oficiais – Banco da Amazônia (Basa), Banco do Nordeste (BNB) e Banco do Brasil (BB). O montante de 3% da arrecadação do Imposto de Renda (IR) e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) representa as transferências do Tesouro Nacional para os três fundos constitucionais de financiamento. Desse total, o FNE fica com a parcela de 1,8% e os outros dois fundos (FCO e FNO) ficam cada um com uma parcela de 0,6%. Apesar de haver experiências com linhas de crédito destinadas ao pequeno agricultor (e.g. Programa de Crédito Fundiário e Combate à Pobreza Rural e Programa Consolidação da Agricultura Familiar, ambos no Nordeste) ou linhas de crédito ambientalmente corretas (e.g. Programa de Financiamento do Desenvolvimento Sustentável da Amazônia), o universo das linhas de crédito ligadas aos fundos constitucionais é disperso em seus objetivos, com critérios muitas vezes conflitantes. Assim, os recursos existentes devem continuar a ser canalizados para a promoção do desenvolvimento das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, mas com maior focalização em projetos que promovam a sustentabilidade ambiental regional, não apenas nas áreas rurais, mas também nas áreas urbanas, que deverão estar mais bem aparelhadas para atender as demandas potenciais crescentes associadas a MCG.

Evidentemente, todas essas intervenções envolverão volumes de recursos significativos, tendo em vista que seu impacto deverá ser tal que possa alterar as atuais práticas. Não se alcançarão os resultados necessários com intervenções tíbias. Aqui haverá de montar fundos para apoiar os programas, à maneira dos atuais fundos constitucionais para as regiões pobres, ou dos fundos sociais. Mas não montar esses programas levará aos custos apontados acima, de qualquer forma. Sem que os agentes econômicos identifiquem formas de produção limpa mais lucrativas do que as alternativas hoje utilizadas, esta não acontecerá. O subsídio ao álcool no início do programa foi fundamental para que os empresários desenvolvessem tecnologia que permitissem competitividade com o petróleo ao longo do tempo. O mesmo pode ser dito dos financiamentos altamente subsidiados. Assim como dos programas públicos ou semi-públicos de desenvolvimento de tecnologia.

Adicionalmente, a área da educação e do treinamento das pessoas é fundamental. Parte das diferenças das trajetórias entre os cenários A2 e B2 deriva da maior intensidade da educação no segundo caso. Mais que isso, a consciência a respeito das conseqüências ambientais da produção e do consumo exige conhecimento e acesso à informação. Embora os resultados nessa dimensão tendam a exigir mais tempo de maturação, usualmente exibem maior solidez e criam sinergias importantes com os demais incentivos econômicos.

O esforço de financiamento do conjunto necessário de intervenções não poderá restringir-se às fronteiras nacionais. Como o esforço brasileiro resultará em benefícios para todo o planeta (ou, que o não-esforço brasileiro terá efeitos negativos em todo o planeta), há que pensar em termos globais. Os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo deverão ser acionados, mas outras formas de associação entre nações deverão ser

buscadas. Nessa dimensão, torna-se necessário desenhar programas atraentes para os parceiros internacionais, que sejam coerentes, consistentes e conseqüentes e que alinhem factibilidade econômica com uma contribuição significativa para a redução das emissões.

Referências Bibliográficas

ADAMS, P.D; HORRIDGE, J.M; WITTWER, G. **MMRF-GREEN: A Dynamic Multi-regional Applied General Equilibrium Model of the Australian Economy, Based on the MMR and MONASH models**. Monash University, Centre of Policy Studies. 70 p. November, 2002.

BARBIERI, A. F. ; DOMINGUES, E. P. ; RESENDE, M. F.C.; [RUIZ, R. M.](#); LANZA, B. **Climate Change and Population Migration in Brazil's Northeast: Scenarios for 2025-2050. Population and Environment**, 2010 (*no prelo*).

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 2004 (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21037.html>).

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Contribuições do Brasil para Evitar a Mudança do Clima**. 2007. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/73007.html>)

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal – INERAGEE**, 2004. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17351.html>)

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status Atual das Atividades de Projeto no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no Mundo**. 2008. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/30317.html>)

BURNIAUX, J. M.; TRUONG, T. P. **GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model**. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA. Purdue. 2002

CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ. **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050**. Relatório de Pesquisa. 2008. Disponível em http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes_saude/Cedeplar_Sumario_Executivo.pdf

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. **Dynamic General Equilibrium Modelling for Forecasting and Policy**. Amsterdam: Elsevier. 2002 (Contributions to Economic Analysis 256)

DOMINGUES, E. P. MAGALHAES, A. S.; RUIZ, R. M. **Cenários de Mudanças Climáticas e Agricultura no Brasil: Impactos Econômicos na Região Nordeste**. Texto para Discussão 340/CEDEPLAR. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD%20340.pdf>

EMBRAPA. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil.** (Disponível em www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf). São Paulo, 2008.

FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; ROCHA, M. T. **Avaliação Econômica e Políticas Públicas Visando Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil.** Relatório final de projeto de pesquisa. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2007..

GOTTINGER, H. W. Greenhouse Gas Economics and Computable General Equilibrium. **Journal of Policy Modeling**, v.20, n.5, 10, p.537-580. 1998.

HADDAD, E. A. **Regional Inequality and Structural Changes: Lessons from the Brazilian Experience.** Aldershot: Ashgate. 1999.
_____. **Retornos Crescentes, Custos de Transporte e Crescimento Regional.** (Tese de Livre-Docência). IPE, USP, São Paulo, 2004.

HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. P. EFES - Um Modelo Aplicado de Equilíbrio Geral para a Economia Brasileira: Projeções Setoriais para 1999-2004. **Estudos Econômicos**, v.31, n.1, p.89-125. 2001.

HARRISON, W. J.; PEARSON, K. R. **An Introduction to GEMPACK.** Australia: IMPACT Project and KPSOFT 2002.

HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M.; HILGEMBERG, C. M. A. T. **Uso de Combustíveis e Emissões de CO₂ no Brasil: um Modelo Inter-Regional de Insumo Produto.** In: Anais do XXXIII Encontro Nacional de Economia, Natal, 2005. (Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2005/artigos/A05A135.pdf>)

HOPE, C. The marginal impact of CO₂ from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern. **Integrated Assessment Journal**, Vol 6, issue 1, 2006.

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers.** 2007. (Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>)

KANCZUK, F. . Business Cycle in a Small Open Brazilian Economy. **Economia Aplicada**, v. 5, n. 3, p. 455-470, 2001.

_____, F. . Usando Ciclos Reais para Construir Cenários Macroeconômicos. **Economia Aplicada**, v. 7, n. 4, p. 675-702, 2004.

MANNE, A. S. General Equilibrium Modeling for Global Climate Change. In: KEHOE, T. J.; SRINIVASAN, T. N.; WHALLEY, J. (Ed.). **Frontiers in Applied General Equilibrium Modeling.** New York: Cambridge University Press, p. 255-276, 2005.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

NORDHAUS, W. **The Stern Review on the Economics of Climate Change**. 2006. (Disponível em: <http://nordhaus.econ.yale.edu/SternReviewD2.pdf>)

PEROBELLI, F. S. **Análise das Interações Econômicas entre os Estados Brasileiros**. (Tese de Doutorado). Departamento de Economia/IPE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

STERN, N. **The Economics of Climate Change – the Stern Review**. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.

TOL, R. J. The Economic Effect of Climate Change. **Journal of Economic Perspectives**, v. 23, n.2, Spring, 2009.

TOURINHO, O. A. F.; DA MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. **Uma Aplicação Ambiental de um Modelo de Equilíbrio Geral**. IPEA. Texto para discussão n. 976, Rio de Janeiro, 2003. (Disponível em: http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf)

United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. **Convenção sobre Mudança do Clima**. 2.ed. Brasília: MCT, 2001a. 30p. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3996.html>)