

IMPACTOS DA ECONOMIA MUNDIAL DE BAIXO CARBONO SOBRE O BRASIL*

Angelo Costa Gurgel[†]

Resumo

O presente estudo mensura os impactos da transição para uma economia mundial de baixo carbono sobre as emissões de gases de efeito estufa e sobre a economia brasileira, a partir da simulação de cenários de políticas de redução em emissões de gases de efeito estufa em discussão e implementação em diferentes países. Utiliza-se para tal um modelo de equilíbrio geral dinâmico capaz de representar as principais fontes antrópicas de emissões, como o consumo de energia, as mudanças no uso da terra e o uso de insumos nitrogenados na agricultura. Os resultados indicam que as políticas climáticas produzem poucos impactos na economia brasileira no ano de 2020, de queda de 0,2% do PIB. Contudo, a intensificação das políticas gera perdas crescentes, que chegam a 4% do PIB em 2050. Esses custos devem-se em parte à aplicação da política brasileira com metas setoriais diferenciadas de redução em emissões, o que impede setores com menores custos de mitigação respondam por maiores cortes em emissões. Se o Brasil não aplicar políticas climáticas mas estiver sujeito às tarifas compensatórias de carbono pelos países que as aplicam, as perdas em PIB são inferiores a 0,5%. Já um cenário de política climática global que permita o comércio de créditos de carbono entre países, e assim, diminuam os custos dos corte em emissões, reduz as perdas em PIB para o Brasil a menos da metade das observadas nos cenários de aplicação de políticas setoriais no país. Os resultados setoriais sobre a produção brasileira revelam mudanças estruturais importantes na economia nos anos de 2035 e 2050, sendo os de energia fóssil e transportes os maiores prejudicados. Outros setores que também sofrem impactos negativos, mas em menor magnitude, são os setores agropecuários e as indústria de alimentos e intensivas em energia.

Palavras-chave: Economia de baixo carbono, política climática, impactos econômicos, equilíbrio geral.

Abstract

The goal of this paper is to measure the impacts on greenhouse gas emissions and on the Brazilian economy from the world transitioning to a low carbon economy. We simulate several scenarios of policies to reduce greenhouse gas emissions in discussion and implementation nowadays. We use a dynamic general equilibrium model able to represent the main sources of emissions, as the energy consumption, land use changes and the use of nitrogen inputs in agriculture. The results indicate that the climate policies have low impacts on the Brazilian economy in 2020, around 0.2% of GDP. However, the intensification of such policies increase the costs to 4% of GDP in 2050. Such losses are due in part to the implementation of the Brazilian policy through differentiated sectoral cuts in emissions, what prevents those sectors with lower mitigation costs to contribute with larger reduction in emissions. If Brazil doesn't apply any climate policy, but faces trade tariffs based on carbon content from countries implementing GHG cuts, the GDP losses are reduced to less than 0.5%. A global climate policy initiative, that allows countries to trade carbon permits, would reduce the GDP losses for Brazil by less than half of those observed under the sectoral policies in the country. The impacts on the Brazilian sectors indicate important structural changes in 2035 and 2050, with the fossil fuel energy and transportation sectors suffering the most. Other sectors negatively but less impacted include the crop, livestock, food and energy intensive sector.

Keywords: Low carbon economy, climate policy, economic impacts, general equilibrium.

Área ANPEC: Economia Agrícola e do Meio Ambiente

Classificação no JEL: Q54, Q58, C68

* Pesquisa realizada com o apoio financeiro e bolsa do CNPq

[†] Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas – EESP/FGV, angelo.gurgel@fgv.br

IMPACTOS DA ECONOMIA MUNDIAL DE BAIXO CARBONO SOBRE O BRASIL

Angelo Costa Gurgel

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno das mudanças climáticas é apontado como decorrente do aumento nas concentrações dos chamados gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera terrestre. Diversas consequências negativas são esperadas por conta dessas mudanças, como a elevação dos níveis dos oceanos e inundação de áreas e cidades costeiras, agravamento de secas e enchentes, migração e extinção de espécies animais e vegetais e alterações consideráveis na produtividade agrícola (PARRY et al., 2007).

Diante dos riscos associados a esses eventos, diversos países têm buscado, individualmente, em bloco, ou multilateralmente, traçar políticas e estratégias para reduzir as emissões de GEEs, em direção à uma economia de baixo carbono. Exemplos desses movimentos incluem a criação e implementação do Protocolo de Quioto, o estabelecimento de mercados de créditos para emissão de poluentes (*Emissions Trading Program*) sendo implementados pela União Européia (UE) (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2006) e discutidos no Congresso Norte-Americano (US SENATE, 2007c) e a introdução de impostos à emissão de gases de efeito no Canadá na província de Quebec (DOUGHERTY, 2007).

Diversos desafios e oportunidades se apresentam às nações e aos organismos internacionais diante desse esforço para redução de emissões de gases de efeito estufa e mitigação dos impactos negativos das mudanças climáticas. Esforços de controle e redução de emissões de gases por nações individuais ou blocos geralmente possuem alcance limitado no que diz respeito à contribuição para estabilização global das concentrações de gases em níveis adequados e/ou desejáveis. Contudo, podem representar um importante passo em termos de assumir responsabilidades, desenvolver mecanismos internacionais de controle e de convencer outros países a adotar políticas para reduzir suas emissões. O conhecimento dos impactos econômicos de tais esforços é fundamental para que as nações conheçam os custos e o alcance das medidas de mitigação.

O objetivo do presente estudo é contribuir para o entendimento e mensuração dos impactos econômicos de políticas que buscam de redução dos gases de efeito estufa através do desenvolvimento e aplicação de um modelo econômico dinâmico da economia global, capaz de simular a adoção de políticas de redução de gases de efeito estufa e suas especificidades. De forma mais específica, pretende-se avaliar como a transição para uma economia de baixo carbono, via introdução de restrições a emissões de GEEs, pode afetar as emissões dos diferentes países e a produção dos setores brasileiros.

Vários estudos e modelos quantitativos vêm sendo desenvolvidos para estudar os impactos das mudanças climáticas e para simular políticas econômicas que lidam com o problema de externalidade associado às emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, a literatura sobre estudos econômicos de mudanças climáticas e políticas de mitigação é relativamente nova e vem desenvolvendo-se rapidamente. Aplicações que consideram restrições às emissões de gases de efeito estufa incluem: Tourinho, Seroa da Motta e Alves (2003); Lopes (2003); Rocha (2003); Ferreira Filho e Rocha (2007); Feijó e Porto Jr. (2009); Lima (2011); Silva e Gurgel (2012); entre outros. Quanto à mensuração dos impactos das mudanças climáticas sobre a economia brasileira, pode-se citar o estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil (MARGULIS; DUBEUX, 2010).

Esses trabalhos mostram que a literatura nacional vem desenvolvendo-se rapidamente no uso de modelos quantitativos para a avaliação das questões climáticas relacionadas ao Brasil. O presente estudo pretende contribuir com essa literatura pelo desenvolvimento da modelagem dinâmica para avaliação quantitativa de políticas climáticas. Para tal, consideram-se elementos não trabalhados nos estudos anteriores, como o controle das emissões provenientes de mudanças no uso da terra no Brasil bem como a simulação de políticas em discussão, em aplicação ou assumidas como compromisso pelos países nos fóruns internacionais recentes sobre o tema, como o Plano Nacional de Mudanças Climáticas.

2. O MODELO

Apresenta-se aqui uma breve descrição do modelo utilizado, o *Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model* (PALTSEV et al., 2005), bem como das adaptações e avanços implementados para atingir os objetivos do estudo. Tal modelo vem sendo amplamente aprimorado e empregado para o estudo de aspectos ligados à agricultura, energia e políticas climáticas, e descrições mais detalhadas do mesmo podem ser encontradas em Silva (2010) e Lima (2011) e Silva e Gurgel (2012). O modelo EPPA é dinâmico recursivo, multi-regional e multi-setorial. Os dados econômicos que alimentam o modelo são formados principalmente por matrizes de contabilidade social e de insumo-produto que representam as estruturas das diferentes economias consideradas, provenientes do *Global Trade Analysis Project - GTAP* (HERTEL, 1997; NARAYANAN; WALMSLEY, 2008), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral. Dados sobre produção e uso de energia em unidades físicas são provenientes tanto da base de dados do GTAP quanto da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2004, 2005). Já as estatísticas sobre os gases de efeito estufa (dióxido de carbono, CO₂; metano, CH₄; óxido nitroso, N₂O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre; SF₆) foram obtidos de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, bem como do banco de dados EDGAR desenvolvido por Olivier e Berdowski (2001).

O modelo simula a evolução da economia mundial em intervalos de 5 anos entre 2005 e 2100. Funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de capital, trabalho, terra, energia e insumos intermediários para gerar os bens e serviços, considerando a maximização do lucro. O consumo é representado pela presença de um consumidor representativo em cada região que busca a maximização do seu bem-estar pelo consumo de bens e serviços. As escolhas dos agentes econômicos são determinadas pelos parâmetros de elasticidades de substituição nas funções de produção e de utilidade do consumidor.

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

O modelo EPPA representa dezesseis países e regiões, bem como diversos setores de produção e fatores primários, como apresentado na Tabela 1. Informações adicionais são utilizadas para distinguir o transporte comercial do transporte de passageiros em automóvel próprio, o setor de geração de eletricidade para representar tecnologias correntes (como hidroelétrica, nuclear e fóssil) e fontes alternativas (como eólica, solar e biomassa) não usadas extensivamente, mas com potencial de oferta em larga escala no futuro, e de políticas nos mercados de energia. Para representar tais tecnologias, informações do tipo “bottom-up” sob parâmetros de engenharia são consideradas (PALTSEV et al., 2005).

Algumas modificações e adaptações foram introduzidas na versão do modelo utilizada na presente pesquisa, de forma a atingir os objetivos propostos. As principais modificações dizem respeito à desagregação dos setores intensivos em energia, originalmente agrupados em apenas um setor e a inclusão dos biocombustíveis de primeira geração no modelo. Os setores intensivos em energia foram desagregados nos seguintes: químicos, borracha, plásticos e papel (CRP), siderurgia e metalurgia

(STEEL), de manufatura de metais não ferrosos como alumínio, zinco e cobre (ALUM) e de manufatura de minerais não metálicos como o cimento e o vidro (CIME), utilizando os dados do GTAP 7 como fonte de informações para tal. Já os biocombustíveis de primeira geração são representados a partir dos diferentes tipos de biomassa destinada a biocombustíveis, de acordo com o nível corrente de produção existente nos diferentes países, bem como por funções de produção para representar o processamento da biomassa para a geração do biocombustível.

Tabela 1 - Agregação de regiões, setores e fatores no modelo EPPA

Regiões	Setores	Fatores
Estados Unidos (USA)	Não Energia	Capital
Canadá (CAN)	Agricultura - Culturas (CROP)	Trabalho
México (MEX)	Agricultura - Pecuária (LIVE)	Petróleo cru
Japão (JPN)	Agricultura - Florestal (FORS)	Petróleo xisto
União Européia (EUR)	Alimentos (FOOD)	Carvão
Austrália & N. Zelândia (ANZ)	Serviços (SERV)	Gás natural
Federação Russa (RUS)	Químicos, borracha, plásticos, papel (CRP)	Hidráulica
Leste Europeu (ROE)	Siderurgia e metalurgia (STEEL)	Nuclear
China (CHN)	Metais não ferrosos (ALUM)	Eólica & Solar
Índia (IND)	Minerais não metálicos (CIME)	Terra:
Brasil (BRA)	Outras Indústrias (OTHR)	- de culturas
Leste Asiático (ASI)	Serviços de transporte (TRAN)	- pastagens
Oriente Médio (MES)	Transporte próprio das famílias (FTRAN)	- florestal
África (AFR)	Energia	Florestas naturais
América Latina (LAM)	Carvão (COAL)	Pastagens natur.
Resto da Ásia (REA)	Petróleo bruto (OIL)	
	Petróleo refinado (ROIL)	
	Gás natural (GAS)	
	Eletricidade: Fóssil (ELEC)	
	Eletricidade: Hidráulica (H-ELE)	
	Eletricidade: Nuclear (A-NUC)	
	Eletricidade: Eólica (W-ELE)	
	Eletricidade: Solar (S-ELE)	
	Eletricidade: Biomassa (biELE)	
	Eletricidade: NGCC ¹ (NGCC)	
	Eletricidade: NGCC – CCS ²	
	Eletricidade: IGCC ³ – CCS	
	Gás sintético (SGAS)	
	Biocombustível (2ª geração) (BOIL)	
	Petróleo de xisto (SOIL)	
	Biocombustível (1ª geração)	

Fonte: Paltsev et al. (2005).

¹ NGCC: conversão de gás natural em eletricidade a partir de ciclo combinado de geração

² CCS: captura e seqüestro de carbono

³ IGCC: tecnologia de geração de gás natural a partir do carvão pelo ciclo combinado de geração

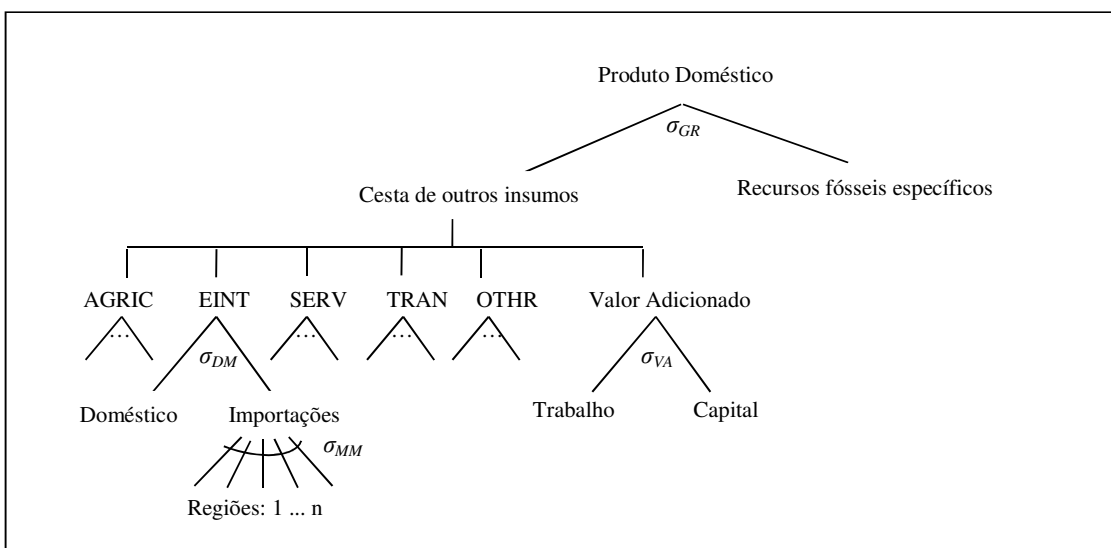
O modelo EPPA encontra-se formulado como um Problema de Complementaridade Mista (*Mixed Complementarity Problem – MCP*), conforme descrito por Mathiesen (1985) e Rutherford (1995). O problema em MCP é solucionado numericamente através do software *General Algebraic Modeling System*, GAMS (BROOKE et al., 1998). O problema econômico de equilíbrio geral em MCP envolve três desigualdades que precisam ser satisfeitas: lucro zero, equilíbrio dos mercados (*market clearing*) e equilíbrio ou balanceamento da renda. Essas condições de desigualdades estão associadas a um conjunto de três variáveis não-negativas, quais sejam preços, quantidades e níveis de renda.

As funções de produção e consumo utilizadas pelo modelo EPPA são caracterizadas como funções de elasticidade de substituição constante (*constant elasticity of substitution – CES*). O comportamento das firmas segue a formulação microeconômica de maximização do lucro. Em cada região e em cada setor, uma firma representativa escolhe o nível de produto, a quantidade de fatores primários e insumos intermediários de outros setores, para maximizar os lucros sujeito à sua restrição

tecnológica. Quanto ao comportamento dos consumidores, um agente representativo em cada região é dotado de fatores de produção, cujos serviços podem ser vendidos às firmas. Em cada período, o agente representativo escolhe os níveis de consumo e poupança que maximizam sua função de utilidade sujeita à restrição orçamentária para dado nível de renda. As preferências também são representadas por funções CES. O sistema de equações é fechado com um conjunto de equações que determinam os preços de equilíbrio nos diferentes mercados de bens e fatores

As tecnologias de produção no modelo EPPA são representadas por funções CES com diversos níveis de desagregação, através de estruturas aninhadas que permitem apresentar maiores possibilidades de substituição de insumos, principalmente energéticos. Como exemplo, apresenta-se uma estrutura das funções CES aninhadas comum entre os setores de produção de energia fóssil de carvão (COAL), petróleo (OIL) e gás (GAS) na Figura 1.¹ Insumos intermediários são considerados complementares perfeitos (Leontief), juntos com uma cesta agregada de capital-trabalho (valor adicionado). Recursos fósseis específicos ao setor são combinados com os demais insumos e fatores considerando uma elasticidade de substituição entre os mesmos.

As importações de um determinado bem com origem em diferentes regiões são primeiramente combinadas como bens Armington sob uma elasticidade σ_{MM} , ou seja, bens da mesma indústria provenientes de diferentes regiões são considerados substitutos imperfeitos, e posteriormente, o agregado de importados é combinado com a produção doméstica do mesmo bem, sob a elasticidade σ_{DM} , de forma a criar uma cesta de bens ofertados dentro da região. O petróleo bruto (OIL) é tratado como um produto homogêneo no comércio internacional, de forma que todos os países e regiões se deparam com um único preço no mercado mundial. Carvão, gás e petróleo refinado são considerados bens Armington, devido à diferenciação de produtos e qualidade.



Fonte: Paltsev et al. (2005).

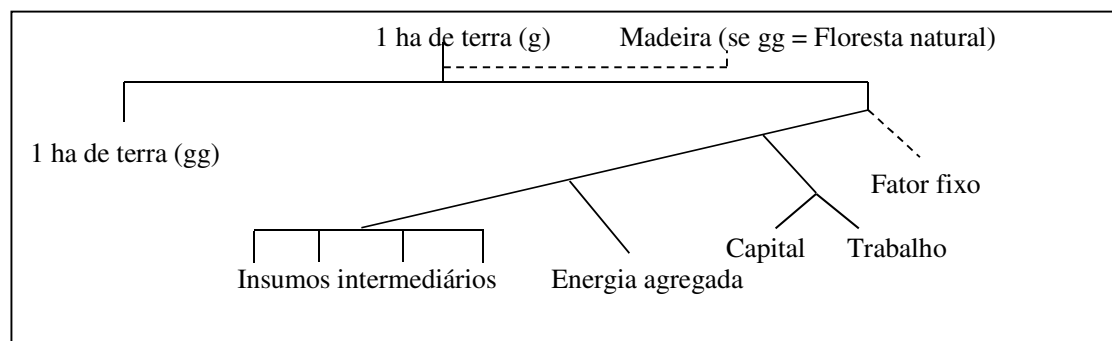
Figura 1 - Estrutura aninhada dos setores primários de energia fóssil (carvão, petróleo e gás)

Um avanço importante do modelo EPPA diz respeito à representação de mudanças no uso da terra. O uso da terra está dividido em cinco categorias: pastagens, culturas, produção florestal (áreas de silvicultura, extração vegetal e florestas plantadas), florestas naturais e pastagens naturais. Cada categoria de terra é considerada um recurso renovável, que pode ser alterado pela sua conversão em outra categoria, ou abandonada em categoria não utilizada (vegetação secundária). A terra também está sujeita às melhorias exógenas de produtividade, estabelecidas em 1% ao ano para cada categoria,

¹ A representação das tecnologia dos demais setores do modelo EPPA foi suprimida por limitações de espaço. O leitor interessado pode encontrar maiores detalhes sobre as árvores tecnológicas dos demais setores em Paltsev et al. (2005).

refletindo a tendência histórica de avanço na produtividade agropecuária, bem como o rendimento histórico das safras, o qual tem apresentado um crescimento de 1% a 3% ao ano (Reilly e Fuglie, 1998).

A transformação do uso da terra é representada por equações de conversão de uma categoria de uso da terra em outra e de expansão da fronteira agrícola pela redução das áreas de vegetação natural. A Figura 2 representa o funcionamento das relações de conversão de uso da terra. Nessas relações, um hectare de determinada categoria de terra pode ser convertido em um hectare de outra categoria. A terra convertida assume uma nova produtividade média de acordo com o tipo de terra que fora convertida e a região. Em equilíbrio, o custo da conversão marginal de um tipo de terra em outro deve ser igual à diferença entre o valor econômico dos dois tipos de terra. Esse procedimento permite manter a pressuposição de lucro econômico igual a zero nos modelos de equilíbrio geral, em que a atividade econômica só se torna viável se seus custos são compensados pela receita advinda da mesma. Além disso, exige-se que a conversão utilize insumos reais e desembolsos de recursos.



Fonte: Gurgel *et al.* (2007).

Figura 2 – Estrutura das funções de conversão do uso da terra.

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

O valor de uso da terra no modelo representa as transações monetárias reais como inferido pelas agências de estatísticas econômicas de cada país, portanto, esse valor deve ser consistente com os dados sobre receita, custos de insumos e retornos de outros fatores. A renda da terra bem como a área no uso de culturas, pastagens e silvicultura é obtida a partir da base de dados do GTAP (NARAYANAN; WALMSLEY, 2008). Para obter o valor da renda por hectare, os dados acerca das rendas agregadas precisam ser divididos pela quantidade física de terra. Como as categorias florestas naturais e pastagens naturais não são utilizadas para produção econômica, pois não estão em uso corrente, é necessário um esforço para inferir um valor econômico para essas categorias. Os dados das áreas que não produzem fluxo de renda foram obtidos da base de acordo com o procedimento adotado em Gurgel *et al.* (2007).

O modelo EPPA permite a incorporação de vários tipos de políticas de controle de emissões de GEEs. Pode-se incluir impostos e subsídios à produção e ao consumo de combustíveis e a outros tipos de produtos, bem como as alíquotas de impostos podem ser fixadas para representar o conteúdo de carbono para diferentes tipos de combustíveis. As políticas podem ser definidas por região, por setor produtivo ou por tipo de gás de efeito estufa. O modelo permite também aplicar restrições quantitativas nas emissões, seja de forma independente para cada região, gerando um preço autárquico, ou permitindo o comércio internacional de créditos (ou permissões) de emissões, gerando preços globais. Nesse último caso, o comércio de permissões é contabilizado juntamente com outros fluxos de comércio. Assim, os

superávits associados com vendas líquidas de permissões entram na economia exportadora e são automaticamente calculados na medida de bem-estar.

A incorporação de restrições quantitativas às emissões de gases de efeito estufa no modelo é feita através da consideração de relação complementar entre o uso do combustível fóssil gerador de emissões e a quantidade física de permissões ou créditos de emissões associada ao uso do mesmo. Isso significa que, na representação das árvores tecnológicas adiciona-se um novo insumo (créditos de emissões) que deve ser combinado com cada tipo específico de energia fóssil com elasticidade de substituição igual a zero (Leontief). A quantidade desse insumo é específica ao setor e ao combustível fóssil sendo utilizado, de forma a refletir o volume de emissões associado aos mesmos. Elasticidades de substituição diferentes de zero são consideradas quando existem possibilidades de redução de emissões devido ao emprego de tecnologias mais limpas.

Nos modelos dinâmico-recursivos, como o EPPA, as decisões econômicas de otimização são realizadas a cada período considerando apenas os valores de preços e quantidades vigentes naquele período. Os resultados de equilíbrio gerados em um período são então utilizados como valores de referência para o processo de otimização do próximo período. Nesse sentido, em cada período o modelo possui um processo estático de solução, na medida em que os agentes não se preocupam com valores ou tendências futuras esperadas para as demais variáveis.

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

A representação da evolução do capital considera que a poupança em cada período se iguala ao investimento, que repõe a depreciação no período corrente e contribui para a formação de capital do próximo período. Investimentos são representados no modelo através de um setor produtivo específico, que gera um nível agregado de investimentos igual ao nível de poupança determinado pela função de utilidade do agente representativo. Esse investimento agregado deve então ser utilizado por cada setor da economia como demanda setorial por investimentos (formação bruta de capital fixo mais variação de estoques), de acordo com a informação disponível nas matrizes de insumo-produto da base de dados do GTAP. A acumulação de capital é contabilizada a partir da adição dos investimentos ao estoque já existente, descontada a depreciação. A propensão marginal a poupar é mantida constante ao longo do tempo, evitando assim choques relacionados aos ciclos econômicos.

O EPPA ainda considera uma sofisticação na representação da dinâmica de uso do capital, pela distinção entre capital maleável e não-maleável. Tal representação objetiva captar a dificuldade de se converter o capital de uma atividade em fator produtivo de uso alternativo em outro setor da economia no curto prazo. Apesar de ser geralmente ignorada nos modelos dinâmico-recursivos, essa representação da rigidez de curto prazo no capital é um ponto importante nesse tipo de modelagem, uma vez que a evolução da economia ano a ano não permite a flexibilidade de se converter máquinas, equipamentos e edifícios de uma atividade em outra em curtos espaços de tempo. A ausência dessa representação faz com que os modelos assumam completa flexibilidade de reversão de qualquer investimento em capital físico para produção de bens e serviços no transcorrer de apenas um período do modelo. No caso dos setores de energia, fundamentais para o estudo dos problemas climáticos, a falta de maleabilidade do

capital permite representar o longo tempo de maturação de investimentos nesse setor e a dificuldade de converter plantas e tecnologias uma vez colocadas em funcionamento.

Outro aspecto importante da dinâmica das economias é o padrão de mudança no consumo ao longo do tempo. A forte evidência empírica de redução de participação de alimentos e produtos básicos e aumento da participação de serviços nos gastos dos consumidores à medida que a renda *per capita* cresce também está representada no modelo, através de mudanças nas elasticidades e nas parcelas de participação de bens e serviços no consumo em função de mudança na renda entre períodos do modelo, seguindo as estimativas de Lahiri, Babiker e Eckaus (2000).

Os processos descritos anteriormente, bem como as políticas de redução de gases de efeito estufa ou no uso de energia, determinam a evolução das economias no tempo, alterando a competitividade e participação das diversas tecnologias. Ao final da resolução de cada cenário, o modelo fornece estimativas e previsões sobre o crescimento do Produto Interno Bruto nos países e regiões, consumo agregado e produção setorial, consumo e produção de energia em unidades físicas, fluxos comerciais, emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes, bem como medidas de custos econômicos das políticas simuladas. Vale ressaltar que o modelo não considera processos dinâmicos de inovação tecnológica endógenos, que poderiam gerar a descoberta de novas fontes de energia, de aumentos mais pronunciados na produtividade de uso das mesmas, ou mesmo em formas de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Os dados do modelo EPPA são passíveis de comparação com os do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério das Minas e Energia e o Ministério da Ciência e Tecnologia. Dessa forma, foram coletados dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006), do Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009), e do Balanço Energético Nacional (Empresa de Pesquisa Energética, 2010) para ajustar os dados iniciais do modelo EPPA de forma a melhor refletir as estatísticas produzidas por instituições oficiais brasileiras. Tais ajustes permitem uma representação mais realista da base de dados inicial do modelo para o caso brasileiro.

3. CENÁRIOS IMPLEMENTADOS

Para definir os cenários simulados no modelo EPPA de forma a atingir os objetivos do estudo, fez-se um levantamento das principais políticas climáticas em discussão e/ou implementação pelos principais países emissores e nos fóruns de discussões internacionais sobre o tema. As discussões no âmbito da UNFCCC, através das Conferências das Partes (COP), constituem um importante balizador das ações regionais e globais para redução em emissões. Vale ressaltar que na COP-17 em Durban em 2011 os países membros sinalizaram que uma reformulação da economia global em direção a uma economia de baixo carbono só deverá ser atingida em discussões posteriores, para início de aplicação provável a partir de 2020. Até lá, os compromissos assumidos no Protocolo de Kyoto devem ser prolongados, sendo que alguns países declararam abertamente retirar sua participação naquele protocolo, como o Canadá por exemplo. Diante das políticas climáticas em discussão ou implementação e das metas de biocombustíveis, e considerando que as negociações na última COP em Durban adiaram para 2020 a busca mais efetiva pela redução em emissões, foram simulados os seguintes cenários:

1. Cenário de referência (*business as usual* - BAU): desconsidera a aplicação de políticas climáticas em qualquer país do mundo, excetuando o estágio atual do mercado de carbono Europeu (EU-ETS), e os mandatos de produção e consumo de biocombustíveis nos EUA e na UE, por já fazerem parte das políticas de energia e/ou climática em vigor.

2. Cenário de políticas climáticas mundiais (Policy): considera a implementação de políticas climáticas em diversos países do mundo, via mercados domésticos de permissões de carbono, de forma a atingir:

UE: Redução de 14% das emissões em 2020 em relação às emissões observadas em 2010, com metade desta redução (7%) em 2015. Como ainda não se determinaram metas para os anos seguintes,

considerar-se-á a tendência de redução de 14% a cada década até o ano de 2050, atingindo redução de 56% neste ano, em relação às emissões de 2010.

EUA: Mesma política da UE, porém com início uma década após, ou seja, redução de 14% das emissões em 2030 em relação às emissões de 2010, com metade desta redução (7%) em 2025 e tendência de redução de 14% a cada década até o ano de 2050, atingindo redução de 42% neste ano, em relação às emissões de 2010. Ainda, consideram-se reduções modestas de 2% e 4% nos anos de 2015 e 2020, respectivamente, em relação às emissões de 2010.

Japão: redução linear das emissões em 30% de 2015 a 2050 em relação aos níveis de emissões observadas em 2005.

Canadá: redução linear das emissões em 21% de 2015 a 2050 em relação aos níveis de emissões observadas em 2005.

Austrália: redução linear das emissões em 21% de 2015 a 2050 em relação aos níveis de emissões observadas em 2005.

China: aumento da eficiência energética via redução da intensidade de carbono (Emissões/PIB) em 50% até 2050. Como tal redução já ocorre espontaneamente no cenário de referência do modelo EPPA², nenhuma política de mercado de carbono é aplicada efetivamente neste cenário.

Índia: aumento da eficiência energética via redução da intensidade de carbono (Emissões/PIB) em 25% até 2050. Como tal redução já ocorre espontaneamente no cenário de referência do modelo EPPA, nenhuma política de mercado de carbono é aplicada efetivamente neste cenário.

México: redução linear em 30% em emissões até 2050 em relação às emissões projetadas pelo modelo no cenário de referência.

África do Sul: Meta de redução desconsiderada, uma vez que o continente africano está todo agregado como uma única região no modelo EPPA.

Coréia do Sul e Indonésia: redução linear em 26% nas emissões até 2050 em relação às emissões projetadas pelo modelo no cenário de referência.

Rússia: redução de 25% nas emissões até 2050, em relação às emissões observadas em 1990.

Brasil: redução das emissões de GEEs de 38,9% até 2020 em relação ao nível de referência estabelecido pelo governo brasileiro, o que significa reduzir as emissões de cerca de 2.704 milhões de toneladas (ton.) de CO₂ Equivalente (CO₂-Eq.) para 1.652 milhão de ton CO₂-Eq. Tal meta deve ser atingida com cortes diferenciados em emissões por setor. Para compor os 38,9% de redução, devem-se somar 24,7% de redução em emissões provenientes do desmatamento e de mudanças no uso da terra (*Land Use Changes – LUC*), 6,1% de redução em emissões dos setores agropecuários, 7,7% de emissões do uso de energia, e 0,4% de emissões dos setores de cimento e siderurgia. Como o cenário de referência gerado pelo modelo EPPA não necessariamente reflete o cenário de referência delineado pelo governo brasileiro, buscou-se implementar os cortes em emissões no Brasil de forma a alcançar o nível máximo em emissões de 1.652 milhão de ton CO₂-Eq, como desejado na Política Nacional de Mudança Climática, considerando os cortes diferenciados por setores. Assumiu-se que a política tem início em 2015, com cortes correspondentes à metade dos aplicados em 2020. Deste ano em diante, considerou-se que os cortes nas emissões da agricultura e do uso de energia são aprofundados em 1 ponto percentual a cada ano, até o ano de 2050. Já as emissões provenientes do desmatamento e de mudanças no uso da terra foram reduzidas gradualmente até cessarem completamente no ano de 2040. Devido às metas diferenciadas de cortes em emissões de diferentes setores, implementam-se mercados de carbono setoriais, ou seja, sem a possibilidade de negociação de créditos de carbono entre diferentes setores. Isso significa que o modelo determina endogenamente um preço para as permissões de carbono (ou créditos negociáveis de emissões) para cada setor representado, de acordo com a interação entre a oferta de permissões (determinada pela meta de corte em emissões) e a demanda dos setores pelas mesmas por conta do uso de energia ou da geração de emissões pelo uso de insumos ou características do processo produtivo.

² O Modelo EPPA considera o aumento da eficiência no uso de energia à medida que a renda per capita de um país aumenta, de acordo com o observado para os países desenvolvidos ao longo dos últimos 100 anos. Dado o crescimento do PIB per capita da China no modelo, o ganho de eficiência a partir deste crescimento é suficiente para atingir a redução na intensidade de carbono delineada pela China. O mesmo é válido para a meta de redução na intensidade de carbono da Índia.

Acredita-se que com essa estratégia de implementação da política consegue-se refletir melhor os custos associados à aplicação das diferentes estratégias de mitigação previstas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas, baseadas em adoção de tecnologia, expansão de fontes renováveis, controle de desmatamento, entre outras, que são específicas aos diferentes setores.³

A Tabela 2 apresenta os cortes em emissões implementados nas diferentes regiões do modelo (exceto Brasil) no cenário Policy, enquanto a Tabela 3 apresenta um esboço dos cortes implementados para o Brasil. Na Tabela 2 cada país ou região possui uma meta diferenciada em reduções, que por sua vez é relativa a um ano específico ou às emissões ano a ano do cenário de referência. Já os cortes em emissões no Brasil são relativos às emissões do cenário de referência, sendo determinados de forma a atingir as metas em volume de emissões previstas pelo Plano Nacional de Mudanças Climáticas.

Tabela 2 – Cortes percentuais em emissões de gases de efeito estufa nas diferentes regiões do modelo EPPA

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
USA *	2	4	7	14	21	28	35	42
CAN ⁺	3	5	8	11	13	16	18	21
MEX ^{**}	4	8	11	15	19	23	26	30
JPN ⁺	4	8	11	15	19	23	26	30
ANZ ⁺	3	5	8	11	13	16	18	21
EUR *	7	14	21	28	35	42	49	56
RUS ⁺⁺	3	6	9	13	16	19	22	25
ASI ^{**}	3	7	10	13	16	20	23	26

* Cortes em relação ao ano de 2010

+ Cortes em relação ao ano de 2005

** Cortes em relação ao respectivo ano do cenário de referência

++ Cortes em relação ao ano de 1990

Tabela 3 – Cortes percentuais em emissões de gases de efeito estufa no Brasil em relação ao cenário de referência

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
LUC	20	56	65	70	85	100	100	100
Agropecuária	2	5	10	15	20	25	30	35
Uso de Energia	3	6	11	16	21	26	31	36

Fonte: Resultados do estudo.

3. Cenário de políticas climáticas mundiais com impostos compensatórios de carbono

(Policy BCA): aplicação das políticas climáticas delineadas no cenário “Policy”, com a cobrança pelos países desenvolvidos (EUA, UE, Canadá, Japão, Austrália e Rússia) de impostos de importação compensatórios com base no conteúdo de carbono (*Board Carbon Adjustment Taxes - BCA*) para produtos importados de países sem metas de redução em emissões.

³ É importante ressaltar, contudo, que a estratégia de implementação da política climática brasileira na forma de mercados setoriais de carbono pode não representar a contento as políticas explicitamente direcionadas ao incentivo de adoção de tecnologias de menores emissões, como é o caso do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), que prevê a adoção voluntária de tecnologias como plantio direto, integração lavoura -pecuária e recuperação de pastagens degradadas, a partir de financiamento com taxas de juros mais baixas que as de mercado. Enquanto o mercado setorial de carbono pode levar tanto à adoção de tecnologias de menores emissões quanto à redução da produção se a tecnologia poupadora de carbono for relativamente cara, o incentivo à adoção de tecnologias a partir de financiamento mais barato pode gerar a redução em emissões pela adoção tecnológica, ou a não adoção e, conseqüentemente, o fracasso em atingir as metas de redução. Dessa forma, ao simular o mercado de carbono setorial no presente estudo parte-se da hipótese de que a meta de redução em emissões deve ser obrigatoriamente atingida, seja via adoção de tecnologias de baixo carbono, seja via redução na produção.

4. Cenário de políticas climáticas mundiais sem a participação do Brasil e com impostos compensatórios de carbono (Policy BCA noBRA): aplicação das políticas climáticas delineadas no cenário “Policy” com exceção das políticas discutidas para o Brasil, com a cobrança pelos países desenvolvidos (EUA, UE, Canadá, Japão, Austrália e Rússia) de impostos de importação compensatórios com base no conteúdo de carbono para produtos importados de países sem metas de redução em emissões.

5. Cenário de pacto mundial para redução em emissões (Policy Global): aplicação de um mercado mundial amplo de créditos de carbono, com participação de todos os países e preço único de carbono no mundo, com créditos de carbono distribuídos por países de acordo com os limites em emissões delineados nas Tabelas 2 e 3, com os demais países e regiões não incluídos na Tabela 2 (ROE, CHN, IND, REA, AFR, MES, LAM) seguindo o mesmo corte em emissões aplicados pela região ASI, em relação às emissões observadas nessas regiões no cenário de referência.

Todos os cenários de políticas, com exceção da aplicação da política climática setorial no Brasil e do cenário “Policy_Global”, foram simulados no modelo EPPA como mercados domésticos de créditos de carbono amplos na região implementadora, com os limites em emissões sobre todos os gases de efeito estufa. Foi considerada a possibilidade de comercialização de créditos entre diferentes setores e tipos de gases, de forma a obter um preço único em termos de dólares por unidade de CO₂ equivalente em toda a região. Os limites em emissões aplicam-se às emissões provenientes do uso de energia e de atividade dos setores (emissões fugitivas), incluindo as provenientes das atividades agropecuárias e produção de cimento. As emissões provenientes de mudanças no uso da terra e desmatamento também foram limitadas no Brasil e na Indonésia (região ASI), porém com mercado e preço diferenciado dos créditos de carbono destinados aos demais setores. No cenário “Policy_Global” assume-se um mercado mundial de carbono, com a possibilidade de compras e vendas de créditos de carbono entre países e preço único no mercado mundial.

4. RESULTADOS

4.1 Emissões de gases de efeito estufa

Os impactos dos diferentes cenários implementados são melhor compreendidos quando se observa como os mesmos alteram a trajetória de emissões de gases de efeito estufa no cenário sem políticas climáticas. A Figura 3 apresenta as trajetórias de emissões nas regiões e países do modelo. Os países desenvolvidos estão sujeitos a um esforço maior de redução em emissões no cenário Policy, já que seus cortes em emissões são determinados com base em algum ano fixo de referência. A UE é a região que aplica cortes mais elevados em emissões no cenário Policy. Já os países em desenvolvimento que se comprometeram com políticas climáticas nesse cenário, como o México (MEX) e os países asiáticos de crescimento acelerado (ASI), reduzem emissões em relação ao cenário de referência, contudo, tais reduções não implicam em trajetória decrescente de emissões no tempo. Dessa forma, os comprometimentos de reduções em emissões refletem a noção de responsabilidades comuns, porém diferenciadas, de acordo com a contribuição histórica para o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera. Quanto aos países em desenvolvimento que não aplicam ações explícitas de redução em emissões, estes apresentam nítida trajetória de crescimento em emissões tanto no cenário de referência (BAU) quanto no cenário Policy. A trajetória de emissões no tempo é afetada negativamente no cenário Policy para apenas algumas regiões, como a África (AFR), o resto da América Latina (LAM) e o restante do Leste da Ásia (REA), o que indica que essas regiões possuem uma elevada dependência, seja por conta de importações, exportações ou fluxos de capitais, daquelas regiões que aplicam políticas climáticas no cenário Policy. Outras regiões, como China (CHN), Índia (IND) e Oriente Médio (MES), praticamente não sofrem mudanças em suas trajetórias de emissões de gases de efeito estufa, sugerindo que os impactos das políticas climáticas em outros países possuem poucos desdobramentos sobre a economia desses países.

No cenário Policy_Global de aplicação de uma política climática global as trajetórias de emissões de gases de efeito estufa são afetadas em todas as regiões do modelo EPPA. Os países desenvolvidos

apresentam maiores emissões nesse cenário do que no cenário Policy, o que significa que são capazes de comprar créditos de carbono de outras regiões do mundo, aliviando assim a necessidade de reduções em emissões. Esse resultado revela a importância de instrumentos como os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDLs), uma vez que o corte em emissões pode ser realizado a menores custos em alguns países em desenvolvimento do que nos países compradores de créditos de carbono. Já os países em desenvolvimento que não realizaram cortes no cenário Policy, passam a contribuir com cortes em emissões no cenário Policy_Global, tendo suas trajetórias de emissões drasticamente afetadas, com destaque para as reduções em emissões na China. Dessa forma, a política global alivia os países desenvolvidos via comercialização de créditos de carbono, permitindo aos países em desenvolvimento a venda de créditos de carbono aos países desenvolvidos.

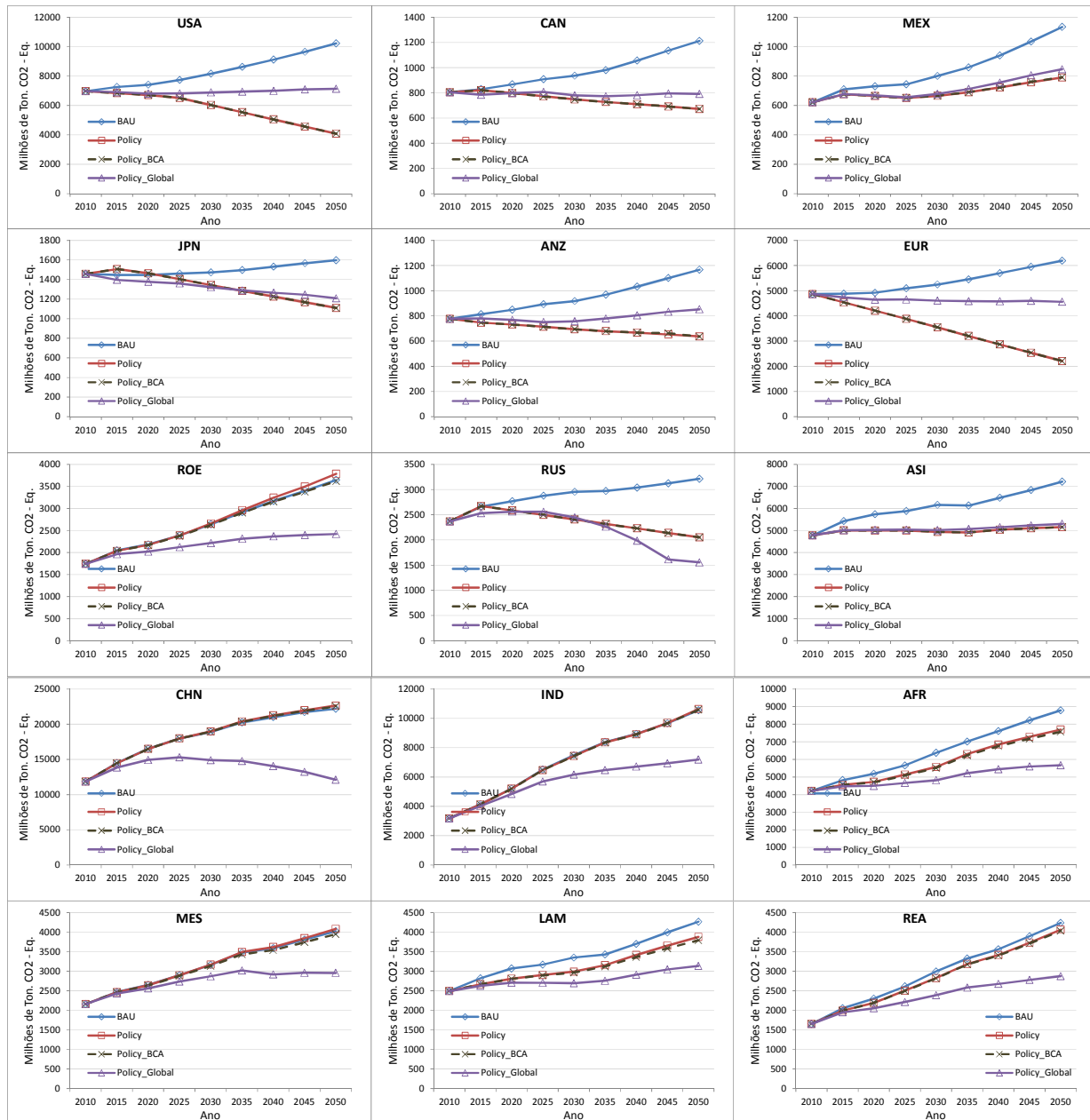


Figura 3 - Trajetórias de emissões de gases de efeito estufa nos cenários implementados

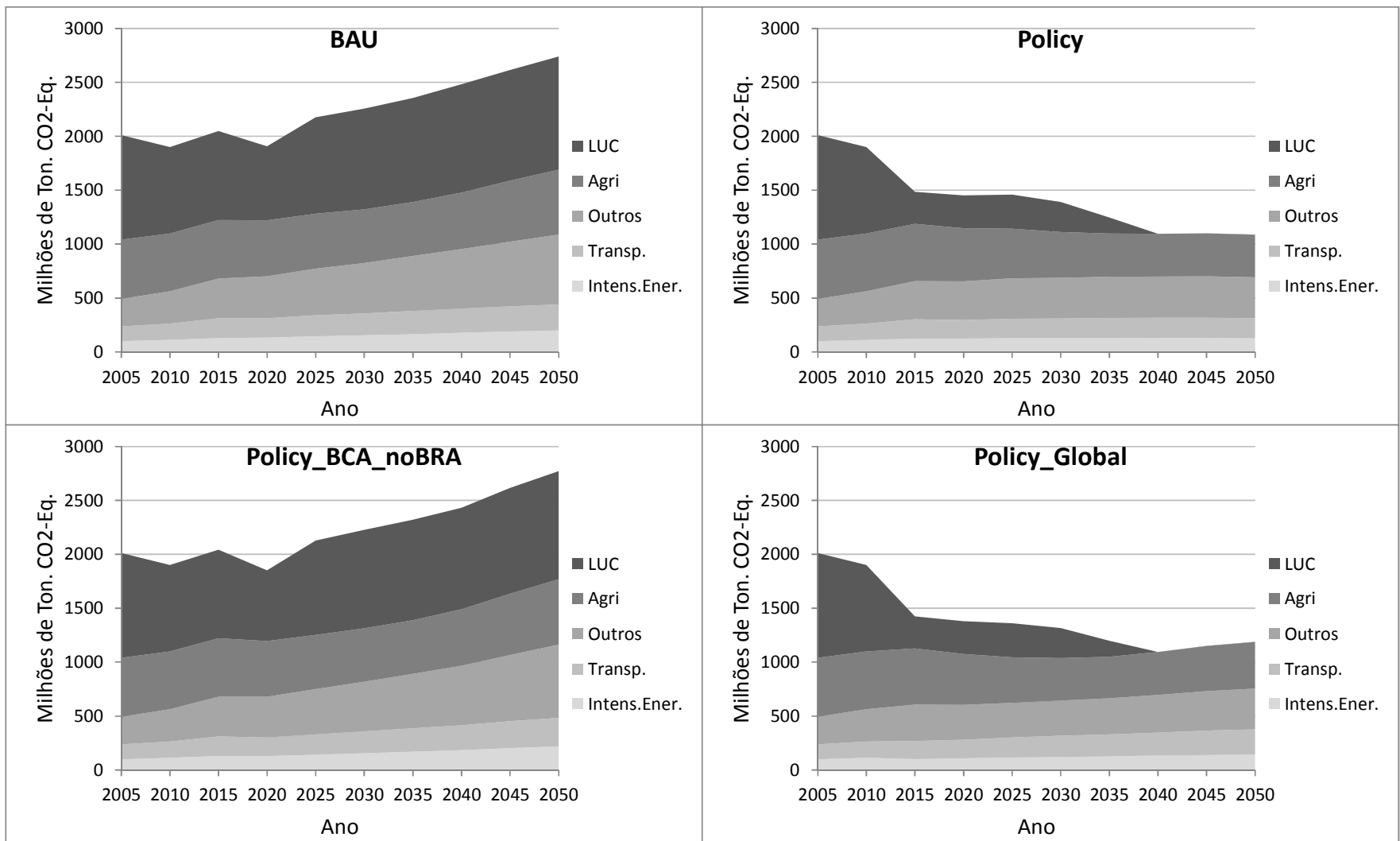


Figura 4 – Trajetórias de emissões de gases de efeito estufa no Brasil

As trajetórias de emissões de gases de efeito estufa no Brasil nos cenários simulados são apresentadas na Figura 4 considerando as diferentes fontes emissoras. O modelo prevê uma trajetória crescente em emissões no cenário BAU, com algumas oscilações devido às emissões de mudanças no uso da terra (*Land Use Change – LUC*). As emissões de 2005 e 2010 são calibradas no modelo para refletir os níveis observados no Inventário Brasileiro de Emissões (BRASIL, 2009), e as reduções no desmatamento dos biomas naturais, no caso do ano de 2010. Nos demais anos, as emissões são consequência do funcionamento das economias segundo as hipóteses consideradas na construção do modelo. Dessa forma, a oscilação nas emissões provenientes de mudanças no uso da terra nos anos de 2015 e 2020 refletem tanto a calibração dos parâmetros que regem a transformação de áreas de vegetação natural em áreas de produção agropecuária, baseadas em taxas históricas, quanto na necessidade de reproduzir no modelo as menores emissões em 2010 com base nos dados históricos de desmatamento. Dessa forma, em 2015 o modelo parece “compensar” o menor desmatamento em 2010, e como consequência, as emissões em 2020 geradas pelo modelo sofrem o ruído do processo de calibragem de 2010 e ajuste endógeno do modelo em 2015. A partir de então, o modelo projeta emissões relativamente constantes provenientes de mudanças no uso da terra, refletindo os parâmetros calculados com base no desmatamento histórico observado desde a década de 1990. O setor agropecuário também apresenta emissões constantes ao longo do tempo, enquanto os demais setores geram emissões crescentes, com destaque para o aumento da participação dos setores não intensivos em energia e não produtores de energia primária, denominados na figura de “Outros”.

Quando da aplicação da política climática no cenário Policy as emissões provenientes de mudanças no uso da terra são drasticamente reduzidas, até serem completamente zeradas em 2040, o que contribui para uma redução considerável nas emissões totais de gases de efeito estufa do país. As emissões dos setores agropecuários (Agri), de outros setores (Outros), transportes (Transp.) e indústrias intensivas em energia (Intens. Ener.) são reduzidas gradualmente em comparação com o cenário BAU, levando a uma estabilização nos níveis de emissões do país em cerca de 1 bilhão de toneladas de CO₂-Eq a partir de 2040. Quando o Brasil não contribui com o esforço de redução em emissões (cenário Policy_BCA_noBRA), a imposição de tarifas compensatórias de carbono sobre o país praticamente não afeta as emissões dos diferentes setores, o que sugere que tais tarifas não são capazes de evitar os “vazamentos” em emissões, ao menos aqueles que se observariam na economia brasileira. Já o cenário de acordo global para redução em emissões (Policy_Global) gera reduções nas emissões brasileiras similares às do cenário Policy, contudo, ligeiramente superiores nos setores agropecuários e transportes, e menores emissões no uso de energia, o que sugere uma distribuição mais eficiente dos créditos de carbono entre os diferentes setores, devido ao mercado único de créditos de carbono, em relação ao sistema de metas setoriais de controle de emissões do cenário Policy.

4.2 Impactos sobre o PIB brasileiro

A Figura 5 apresenta os resultados dos diferentes cenários sobre o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, em relação ao PIB projetado no cenário BAU. A política delineada para 2020 possui impactos bastante modestos sobre o PIB, de queda de cerca de 0,19% em relação ao PIB que seria observado no cenário de referência (BAU), o que significa que os impactos de se atingir as metas previstas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas, através de mercados setoriais de carbono, são modestos. Contudo, as perdas em PIB crescem acentuadamente com o tempo, considerando as hipóteses adotadas de incremento nos cortes em emissões em cerca de um ponto percentual ao ano na agropecuária e no uso de energia, o que gera perdas de cerca de 4% do PIB em 2050. Essas perdas representam uma estimativa dos custos agregados de metas de redução em emissões de gases de efeito estufa no Brasil e demais países, ou seja, da transição para uma economia de baixo carbono. Essas perdas não significam que o crescimento do PIB se torna negativo, mas sim, que o PIB cresce a uma taxa menor que no cenário BAU de ausência de políticas climáticas.⁴ Pode-se atribuir tais reduções na taxa de crescimento do PIB aos aumentos em custo de produção associados ao pagamento de impostos ao carbono em todas as

⁴ Isso significa que a taxa de crescimento do PIB entre os anos de 2010 a 2050 passa de 3,26% ao ano no cenário BAU para cerca de 3,16% ao ano no cenário Policy.

atividades que emitem gases de efeito estufa, à necessidade de redução no consumo de energia e de aumento na eficiência no uso da mesma, bem como à necessidade de investimentos em capital, trabalho e outros insumos na substituição de insumos e fontes de energia emissores por insumos e fontes de energia mais limpas ou renováveis. Deve-se ressaltar, contudo, que esses resultados não levam em conta os benefícios associados ao controle das emissões, ou seja, à redução nos possíveis danos e prejuízos que seriam causados pelas mudanças climáticas no cenário BAU, o que caracterizaria uma análise de custo-benefício. Tais benefícios não são considerados em valores monetários no modelo EPPA pela dificuldade que a ciência possui em identificar e mensurar todos os possíveis prejuízos que seriam causados pelas mudanças climáticas, limitando a capacidade de análises do tipo custo-benefício. Dessa forma, o modelo EPPA permite análises de custo-efetividade das políticas, ou seja, a mensuração dos custos associados a uma determinada meta de redução em emissões, sem auferir os benefícios de tais metas em termos de prejuízos evitados.

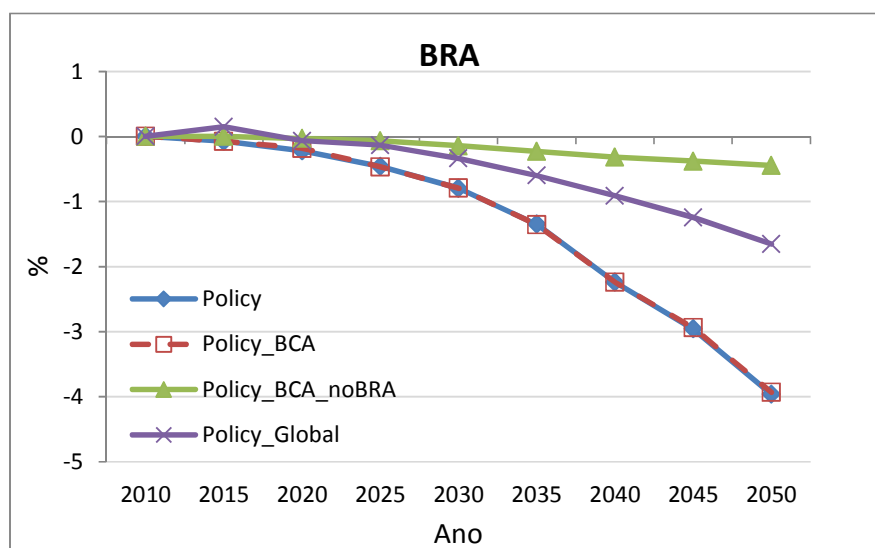


Figura 5 – Mudanças no PIB (%) nos cenários de políticas em relação ao cenário BAU, Brasil

Um ponto importante sobre os impactos da política climática em termos de redução do PIB em relação ao cenário de referência (BAU) é o custo estimado, não desprezível, de cerca de 1,4% de queda em 2035 e de 4% em 2050. Esses custos, relativamente elevados, devem-se em parte à aplicação da política com metas setoriais diferenciadas de redução em emissões, com créditos de carbono não comercializáveis entre setores. Essa escolha de aplicação da política climática no Brasil baseia-se nas metas do Plano Nacional de Mudança Climática, que considera reduções em emissões diferenciadas entre agricultura, uso de energia, siderurgia e mudanças no uso da terra. Essas metas devem ser atingidas pela aplicação de diferentes estratégias de mitigação, baseadas em adoção de tecnologia (como o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e o de plantio direto na agricultura), expansão de fontes renováveis de energia, controle de desmatamento, entre outras, que são específicas aos diferentes setores e, portanto, não permitem comércio de créditos de emissões entre eles. Como a representação de muitas estratégias específicas de mitigação não é possível no modelo por conta das especificidades técnicas das mesmas e ausência de estimativas de curvas de custo marginal de abatimento para os diferentes setores⁵, a forma mais prática de considerar essas políticas é através dos mercados setoriais de permissões de emissões, que levariam à adoção de tecnologias, redução no consumo de energia e aumento na eficiência energética via mudanças em preços relativos. Contudo, a aplicação de metas setoriais de reduções em emissões não costuma se apresentar como a política mais custo-efetiva, uma vez que impede que aqueles setores com menores custos de mitigação respondam por maiores cortes em

⁵ Curvas que apresentam os custos associados à redução de diferentes níveis de emissões em um dado setor com base nos custos das diferentes tecnologias possíveis de serem empregadas para a redução nas emissões.

emissões do que setores com custos de mitigação mais elevados. Dessa forma, as perdas em PIB em relação ao cenário de referência observadas no cenário Policy são relativamente elevadas devido a menor custo-efetividade da política setorial considerada. Ou seja, seria possível reduzir os custos da política se esta permitisse maiores cortes em emissões em setores com menores custos de mitigação, o que seria possível através, por exemplo, de mercados amplos de créditos de carbono, que abrangessem todos os setores ao mesmo tempo.

No cenário em que os países desenvolvidos aplicam tarifas compensatórias de carbono (cenário Policy_BCA), as perdas em PIB no Brasil são praticamente as mesmas que no cenário Policy, uma vez que as exportações brasileiras não estão sujeitas ao pagamento das tarifas compensatórias, que neste cenário só são aplicadas a países que não possuem políticas de reduções em emissões.

Se o Brasil não aplicar políticas climáticas, mas estiver sujeito às tarifas compensatórias de carbono (cenário Policy_BCA_noBRA), ocorrem ligeiras perdas, inferiores a 0,5% do PIB a cada ano, ao longo de todo o horizonte de política simulado, devido à incidência das tarifas compensatórias de carbono aplicadas pelos países desenvolvidos às exportações brasileiras, bem como por conta da desaceleração da economia dos países desenvolvidos diante das políticas climáticas. Já o cenário de esforço mundial de redução em emissões, cenários Policy_Global, traz impactos bem menores em termos de menor crescimento do PIB que o cenário Policy, em que um número limitado de países participa dos esforços de redução em emissões. Esse resultado é consequência tanto da capacidade do país de comprar e vender créditos de carbono de outros países e assim diminuir seu esforço de corte em emissões, quanto ao menor custo de mitigação quando da possibilidade dos diferentes setores negociarem créditos de carbono para atingir uma meta nacional ou global de redução em emissões, ao invés da aplicação dos mercados setoriais de emissões do cenário Policy.

4.3 Impactos sobre a produção setorial no Brasil

A Tabela 4 apresenta os impactos dos diferentes cenários sobre a produção dos setores brasileira para os vários cenários de políticas climáticas através das taxas anuais de crescimento dos setores sob os diferentes cenários considerados em relação ao nível da produção no ano de 2010.

As mudanças na produção dos setores agropecuários e de alimentos se traduzem em pequenos desvios na trajetória de crescimento dos mesmos. A taxa de crescimento do setor de culturas, que no cenário de referência é de 2,05% até 2020, 2,38% até 2035, e de 2,82% até 2050, em relação à produção em 2010, reduz-se no mínimo para 1,97%, 2,23% e 2,53%, respectivamente. Esses resultados indicam um efeito relativamente pequeno das políticas consideradas sobre os setores agropecuários e de alimentos. Efeitos negativos mais pronunciados sobre a agropecuária brasileira estão relacionados à aplicação da política climática através de mercados de carbono setoriais, que impedem a comercialização de créditos de emissões entre setores, e portanto, impõem elevados custos a setores intensivos em emissões não associadas ao consumo de energia, como a agricultura. Ainda, os maiores impactos se dão no ano de 2050, quando as restrições à expansão da área agrícola via desmatamento estão totalmente consolidadas. As tarifas compensatórias aplicadas pelos países desenvolvidos impactam pouco a produção desses setores quando o Brasil não aplica políticas climáticas. Já no cenário de política climática global (Policy_Global), as quedas em produção agropecuária e de alimentos são, em geral, ligeiramente menores que no cenário de política Policy, uma vez que os diferentes setores e países podem comercializar créditos de carbono. Isso indica que a política setorial implementada no cenário Policy impõe cortes em emissões nesses setores proporcionalmente mais elevados do que em outros setores da economia do ponto de vista do custo de abatimento por unidade de emissão.

As mudanças na produção dos setores intensivos em energia (CRP, STEEL, ALUM e CIME) nos cenários de políticas se traduzem em variações modestas na trajetória de crescimento desses setores. A Tabela 4 evidencia que a taxa de crescimento anual do setor CRP, em relação ao ano de 2010, é afetada positivamente quando o Brasil não adota política climática (cenário Policy_BCA_noBRA), aumentando de 3,02% no cenário de referência para até 3,12% em 2020, de 3,19% para 3,27% em 2035, e de 3,11% para 3,24%. Já o setor STEEL apresenta variações em suas taxas de crescimento nos cenários de políticas inferiores a 0,05 pontos percentuais em relação ao cenário de referência, enquanto o setor

Tabela 4 – Taxas de crescimento (%) da produção setorial e do PIB em relação ao ano de 2010

	2020					2035					2050				
	BAU	Policy	Policy_ BCA	Policy_ BCA_ noBRA	Policy_ Global	BAU	Policy	Policy_ BCA	Policy_ BCA_ noBRA	Policy_ Global	BAU	Policy	Policy_ BCA	Policy_ BCA_ noBRA	Policy_ Global
CROP	2.05	2.02	1.97	2.07	1.99	2.38	2.27	2.28	2.33	2.23	2.82	2.54	2.53	2.80	2.56
LIVE	2.47	2.38	2.36	2.47	2.40	2.54	2.38	2.38	2.52	2.37	2.58	2.25	2.25	2.59	2.32
FOOD	2.45	2.38	2.35	2.48	2.40	2.49	2.34	2.33	2.49	2.36	2.49	2.20	2.19	2.51	2.27
CRP	3.02	3.08	2.99	3.12	3.05	3.19	3.18	3.19	3.27	3.20	3.11	3.07	3.07	3.24	3.10
STEEL	2.84	2.85	2.82	2.89	2.87	2.94	2.91	2.92	2.95	2.95	2.88	2.87	2.87	2.90	2.88
ALUM	2.65	2.65	2.53	2.80	2.71	2.87	2.77	2.79	2.86	2.80	2.83	2.67	2.68	2.84	2.65
CIME	2.82	2.84	2.81	2.86	2.85	2.85	2.79	2.81	2.87	2.87	2.85	2.80	2.82	2.88	2.86
OTHR	3.13	3.15	3.14	3.15	3.15	3.02	3.02	3.02	3.02	3.04	3.00	2.99	2.99	3.00	3.01
SERV	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	3.74	3.73	3.73	3.73	3.74	3.52	3.49	3.49	3.51	3.51
TRAN	3.57	3.26	3.26	3.67	3.58	3.43	2.96	2.96	3.46	3.38	3.21	2.69	2.69	3.31	3.12
COAL	2.11	1.70	1.72	2.10	2.13	2.09	1.21	1.20	1.73	1.18	1.88	0.79	0.76	1.45	0.49
OIL	5.13	4.76	5.22	4.73	4.97	2.86	2.87	2.84	2.83	2.65	2.01	1.86	1.87	1.80	1.84
GAS	4.25	3.84	3.89	4.33	4.29	4.16	3.35	3.32	4.17	3.60	3.89	2.67	2.66	3.88	2.86
ROIL	1.73	1.65	1.39	2.06	1.81	1.77	1.32	1.38	1.77	1.68	1.48	1.06	1.11	1.70	1.27
ELEC	2.33	2.26	2.24	2.38	2.33	2.17	1.99	1.99	2.20	2.08	2.05	1.77	1.77	2.13	1.85
PIB	3.74	3.72	3.72	3.74	3.73	3.44	3.38	3.38	3.43	3.41	3.29	3.18	3.19	3.28	3.25

Fonte: Resultados da Pesquisa

CIME apresenta variações de até 0,06 pontos percentuais. O setor ALUM é o mais afetado negativamente, sendo o impacto mais pronunciado o de queda da sua taxa de crescimento, de 2,83% no cenário de referência em 2050 cai para 2,65% no cenário Policy_Global.

Quando o país não faz parte do grupo de nações aplicando políticas climáticas os setores intensivos em energia são afetados positivamente, apesar de que em pequena magnitude, o que significa que as tarifas compensatórias de carbono impostas pelos países desenvolvidos possuem pequeno impacto sobre os mesmos, seja pelo volume relativamente pequeno de exportações brasileiras em alguns setores, seja pela matriz energética relativamente mais limpa no Brasil que se traduz em menores tarifas compensatórias aplicadas ao produto brasileiro. Os setores de outras indústrias (OTHR) e de serviços (SERV) apresentam mudanças bastante modestas em produção, se suas taxas anuais de crescimento permanecem praticamente a mesma em todos os cenários simulados. Já o setor de transportes (TRAN) sofre mudanças consideráveis. No cenário de referência o setor cresce cerca de 3,57% a.a de 2010 a 2020, 3,43% até 2035 e 3,21% até 2050. Essas taxas reduzem-se a 3,26% em 2020, 2,96% em 2035 e 2,69% em 2050 nos cenários Policy e Policy_BCA, o que significa mudanças expressivas na trajetória de crescimento de longo prazo do setor. Esse é bastante afetado negativamente pelas políticas climáticas setoriais implementadas no Brasil, o que revela a baixa disponibilidade de alternativas aos combustíveis fósseis, menor capacidade de ganhos em eficiência, bem como uma política setorial brasileira que coloca um peso desproporcional sobre este setor em relação ao seu custo de mitigação mais elevado. Deve-se ressaltar que, apesar da possibilidade do uso de biocombustíveis em parte da frota brasileira de automóveis de passeio, o setor de transporte abarca todo o transporte aéreo, hidroviário, e de carga rodoviário, o que torna a capacidade de substituição relativamente limitada.

Os setores brasileiros produtores de energia fóssil são, em geral, os mais impactados negativamente pelas políticas. As políticas climáticas dos cenários Policy e Policy_BCA promovem quedas pouco expressivas na produção de energia em 2020, devido aos cortes setoriais nas emissões de uso de energia serem modestos (6%). Os impactos percentuais mais pronunciados são observados no setor de produção de carvão (COAL). O setor de gás natural (GAS) também sofre impactos percentuais negativos consideráveis em sua produção, porém menos expressivos, já que possui menor conteúdo de carbono. A produção de petróleo bruto (OIL) também tende a ser impactada negativamente com a implementação das políticas climáticas em todos os cenários simulados, contudo, as quedas em produção são bem mais modestas, consequência de uma forte dependência da matriz energética brasileira dessa fonte de energia, bem como dos investimentos realizados e em andamento para desenvolvimento de maior capacidade produtiva, considerados exógenos no modelo por conta dos planos de expansão na exploração de novas reservas, incluindo as do pré-sal. O setor de refino do petróleo (ROIL) também é afetado negativamente pelas políticas climáticas, uma vez que seu principal insumo é o petróleo bruto. As taxas anuais de crescimento da produção dos setores de energia, em relação ao ano de 2010, mostram que o setor de extração de petróleo (OIL) é o setor que mais deve crescer na economia até 2020 no cenário de referência, em cerca de 5,13%, por conta dos investimentos previstos para o mesmo. As políticas climáticas devem reduzir essa taxa de crescimento a níveis entre 4,73% e 4,97%, devido à menor demanda por esse produto nos países que impõem políticas climáticas bem como à cobrança de tarifas compensatórias associadas ao conteúdo de carbono quando o Brasil não adota políticas climáticas. O setor de gás natural (GAS) também apresenta taxas de crescimento elevadas no cenário de referência, de 4,25% até 2020, 4,16% até 2035 e 3,89% até 2050. Essas taxas são bastante impactadas pelas políticas climáticas, podendo ser reduzidas a até 3,84%, 3,32% e 2,66%, nos anos respectivos, dependendo do cenário de política considerado. Já o setor de refino de petróleo (ROIL) possui taxa de crescimento mais modesta no cenário de referência que os setores OIL e GAS, em parte por conta do direcionamento da produção de petróleo cru para exportações e investimentos menores na ampliação da capacidade de refino do país. A taxa de crescimento desse setor pode aumentar no cenário em que o país não aplica políticas climáticas, aumentando de 1,73% no cenário de referência para 2,06% em 2020, e de 1,48% para 1,70% em 2050. Esse aumento está relacionado à menor capacidade de exportar tanto o petróleo cru quanto o refinado nesse cenário, que aumentam a oferta doméstica e reduzem o preço do produto refinado, que passa a ser mais consumido internamente.

O setor de geração de eletricidade apresenta impactos que seguem a mesma direção dos impactos sobre a economia como um todo, ou seja, de mudanças no PIB e no consumo agregado. A aplicação de políticas climáticas nos países desenvolvidos e em alguns países em desenvolvimento (cenário Policy) reduz a produção de energia elétrica no Brasil, como consequência da redução na demanda por energia. O cenário em que o Brasil não impõe políticas climáticas, mas enfrenta tarifas compensatórias pelos países desenvolvidos, permite um pequeno incremento na produção de energia elétrica no país, de forma a atender ao crescimento de setores industriais como o de químicos, borracha, plásticos e papel (CRP) e de alimentos (FOOD). Já no cenário de política climática global (Policy_Global), a produção de energia elétrica é impactada negativamente, uma vez que a produção e o consumo dos demais setores na economia tende a diminuir para atingir as metas de reduções em emissões. Note-se, porém, que os impactos são menos pronunciados nesse cenário do que nos cenários de políticas setoriais (Policy e Policy_BCA), já que a política global é mais custo-efetiva do que as políticas setoriais. O modelo projeta que o setor de produção de eletricidade possui taxa de crescimento de 2,33% ao ano até 2020, 2,17% até 2035 e 2,05% até 2050 no cenário de referência, em relação à produção de 2010 (Tabela 4). Essa taxa de crescimento é impactada negativamente nos cenários em que o país adota políticas climáticas, podendo ser reduzida a 2,24% em 2020, 1,99% em 2035 e 1,77% em 2050.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo mensura os impactos da transição para uma economia mundial de baixo carbono, a partir da simulação de cenários de políticas de redução em emissões de gases de efeito estufa em um modelo de equilíbrio geral dinâmico. Diferentes cenários de políticas climáticas foram considerados, de forma a representar as discussões internacionais sobre o tema.

Os resultados encontrados permitem concluir que a política climática brasileira e as metas em discussão por outros países produzem poucos impactos na economia brasileira no ano de 2020, com ligeira queda de 0,2% do PIB em relação ao que seria observado no cenário de referência sem a política. Contudo, a intensificação da política gera perdas crescentes, que chegam a 4% do PIB em 2050. Esses custos elevados devem-se em parte à aplicação da política com metas setoriais diferenciadas de redução em emissões, com créditos de carbono não comercializáveis entre setores. Tal política não permite que aqueles setores com menores custos de mitigação respondam por maiores cortes em emissões. As perdas econômicas representam custos associados à transição para uma economia de baixo carbono, como pagamentos pelas emissões de carbono, redução no consumo de energia, investimentos em aumento na eficiência e na substituição de insumos e fontes de energia emissores por outros mais limpos ou renováveis.

Se o Brasil não aplicar políticas climáticas mas estiver sujeito às tarifas compensatórias de carbono por aqueles países que as aplicam, as perdas em PIB são inferiores a 0,5%, provenientes da incidência das tarifas compensatórias e da desaceleração da economia dos países desenvolvidos. Já um cenário de política climática global permite que os países comercializem créditos de carbono, e assim, diminuam os custos dos cortes em emissões, o que reduz as perdas em PIB para o Brasil a valores percentuais inferiores a 1,7%, ou menos da metade das perdas em PIB observadas nos cenários de aplicação de políticas setoriais pelo Brasil.

Os resultados setoriais sobre a produção brasileira revelam mudanças importantes na competitividade relativa dos setores, sendo pouco expressivas no ano de 2020 em todos os cenários simulados. Contudo, podem representar importantes mudanças estruturais na economia nos anos de 2035 e 2050. Os setores de energia fóssil são os maiores prejudicados com as políticas climáticas. Os setores agropecuários, a indústria de alimentos, a indústria intensiva em energia e o setor de transportes também são impactados negativamente. Esses resultados são consequência das diferentes capacidades dos diversos setores em reduzir emissões via adoção de tecnologias de baixas emissões, aumento na eficiência energética, e substituição de fontes de energia fóssil por fontes renováveis ou limpas. Setores com custos mais elevados ou menores condições de reduzir emissões acabam perdendo fatores

produtivos para os setores com maior capacidade de adaptação à economia de baixo carbono, alterando a competitividade relativa dos diferentes setores e a estrutura de produção da economia.

Dentre os cenários simulados, o que apresenta resultados mais favoráveis, ou menos prejudiciais, à economia brasileira é aquele em que o país não adota políticas climáticas, enquanto os países desenvolvidos reduzem emissões e cobram tarifas compensatórias às importações baseadas nas emissões de cada bem. Esse resultado é consequência dos menores custos que a economia sofreria ao ter que enfrentar barreiras baseadas em carbono às suas exportações, que contribuem relativamente pouco para a produção da maioria dos setores e para o PIB do país, em comparação com os custos de ter que reduzir diretamente as emissões nos diferentes setores, seja pela adoção de tecnologias e/ou fontes de energia mais caras ou pela redução na produção, por conta de políticas climáticas domésticas ou globais. Contudo, esse resultado não deve ser interpretado como um desestímulo à busca por uma economia de baixo carbono no país, uma vez que as consequências negativas do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa são desconsideradas no presente estudo e têm sido apontadas pela comunidade científica mundial como potencialmente elevadas.

Por fim, os resultados indicam que a implementação de um mercado mundial amplo de carbono, além de permitir que uma economia de baixo carbono seja estabelecida a menores custos, também reduz a amplitude das mudanças em produção e fluxos comerciais, já que as responsabilidades de cortes em emissões são melhores distribuídas de acordo com os custos de mitigação de cada setor, permitindo maiores cortes em emissões naqueles setores com menores custos. Dessa forma, as metas nacionais de reduções em emissões devem ser acompanhadas de intensa atividade diplomática nos fóruns internacionais para adesão ampla de outros países, desenvolvidos e em desenvolvimento, aos esforços de redução em emissões, preferencialmente aqueles que permitam o aproveitamento das oportunidades mais baratas de mitigação, como os mercados de carbono internacionais, mecanismos de desenvolvimento limpo e outros instrumentos de cooperação multiregional.

REFERÊNCIAS

- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A; RAMAN, R. **GAMS: a user's guide**. Washington: GAMS Development Corporation, 1998. 262 p.
- DOUGHERTY, K. Quebec the first to announce carbon tax. **Canada National Post**, Ontario, 7 jun. 2007. p. A1.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2010**: Ano Base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010. 276 p.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. **Application of the emissions trading irective by EU Member States**. Copenhagen, Denmark, 2006. European Environmental Agency Technical Report, N. 2/2006.
- FEIJÓ, F. F.; PORTO JÚNIOR, S. S. Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil: uma análise utilizando equilíbrio geral computável. **Análise Econômica**, João Pessoa, v. 27, n. 51, p. 127-154, 2009.
- FERREIRA FILHO, J. B. S.; ROCHA, M. T. Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina. **Anais ... Londrina: SOBER**, 2007.
- GURGEL, A. C.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. Potential land use implications of a global biofuels industry. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, Berkeley, v. 5, n. esp, 2007.
- HERTEL, T. **Global trade analysis: modeling and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 01 junho 2009.

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**: 2004. Paris: OECD/IEA, 2004.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy balances of non-OECD countries**: 2005 edition. Paris: OECD/IEA, 2005.
- LAHIRI, S.; BABIKER, M.; ECKAUS, R. S. **The effects of changing consumption patterns on the costs of emission restrictions**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2000. Report n. 64. Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/pubs/abstract.php?publication_id=636>. Acesso em: 27 maio 2006.
- LIMA, E. M. C. **Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira**. 2011. 151p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.
- LOPES, R. L. **Efeitos de uma restrição na emissão de CO₂ na economia brasileira**. 2003. 170p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. (Eds). **Economia da mudança do clima no Brasil**: custos e oportunidades. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82 p.
- MATHIESEN, L. Computation of economic equilibrium by a sequence of linear complementarity problems. **Mathematical Programming Study**, Heidelberg, v. 23, p. 144-162, 1985.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: informações gerais e valores preliminares. 2009. Disponível em: <http://oc.org.br/cms/arquivos/inventa%ca1rio_emissa%cb5es_gee-valores_preliminares-25-11-2009.pdf>. Acesso em 18 jul. 2010.
- NARAYANAN, B. G.; WALMSLEY, T. G. **Global trade, assistance, and production: the GTAP 7 data base**. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2008.
- OLIVIER, J. G. J.; BERDOWSKI, J. J. M. Global emission sources and sinks. In: BERDOWSKI, J.; GUICHERIT, R.; HEIJ, B. J. (Ed.). **The climate system**. Lisse: Swets and Zeitlinger Publishers, 2001. p. 33-78.
- PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; ECKAUS, R.S.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M.; ASADOORIAN, M.; BABIKER, M. **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model**: version 4. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2005. Report n. 125. Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/pubs/abstract.php?publication_id=697>. Acesso em: 18 fev. 2006.
- PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (Ed.). **Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976 p.
- REILLY, J.; FUGLIE, K. Future yield growth in field crops: what evidence exists? **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, p. 275-290, 1998.
- ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono**: uma aplicação do modelo CERT. 2003. 196 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- RUTHERFORD, T. F. Extension of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. **Journal of Economic Dynamics and Control**, Amsterdam, v. 19, n. 8, p. 1299-1324, 1995.
- SILVA, J. G.; Gurgel, A. C. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 42, n. 1, 2012.
- TOURINHO, O. A. F.; SEROA DA MOTTA, R.; ALVES, Y. L. B. **Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. Texto para discussão n. 976. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2006.
- US SENATE. **Global warming reduction act of 2007**. 110th Congress, 1st Session, Washington, 2007. Disponível em: <<http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c110:S.485>>. Acesso em: 7 fev. 2008.