

Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas, custos de redução de emissões de gases de efeito estufa e impactos sobre as famílias¹

Aline Souza Magalhães*

Edson Paulo Domingues**

RESUMO

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio-ambiente e que tem tomado novas dimensões, seja na magnitude, na escala geográfica ou na variedade de atores políticos envolvidos, são as mudanças climáticas originadas pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Os países em desenvolvimento aumentaram a sua importância como emissores de GEE e têm sido chamados a se posicionarem em relação à mitigação da mudança climática. O Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as emissões de GEE, em busca de uma economia de baixo carbono. Este artigo tem por objetivo estudar políticas climáticas de redução de emissões, que nos últimos tempos tem ganhado proeminência no cenário internacional, como as políticas de precificação de carbono (impostos de carbono), e os custos inerentes a estas políticas. O impacto distributivo sobre as famílias, por exemplo, é um resultado novo no âmbito da literatura brasileira. Existem muitos exemplos de políticas nacionais já em funcionamento que podem servir de exemplo para a proposição de esquemas semelhantes no Brasil. No caso brasileiro, os resultados apontam que metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”. Em termos dos efeitos sobre classes de renda, um imposto sobre o carbono pode afetar com maior intensidade as famílias mais pobres, mas políticas de compensação poderiam cumprir um objetivo mais equitativo, tornando a política mais progressiva.

PALAVRAS-CHAVE: Economia de Baixo Carbono, Taxação de Carbono, Impactos Distributivos, Equilíbrio Geral Computável

CLASSIFICAÇÃO JEL: Q52, Q54, C68

ABSTRACT

One of the most discussed effects of economic activity on the environment is climate change caused by the accumulation of greenhouse gases (GHG). Developing countries have increased their importance as emitters of GHG and increasingly, it has become necessary that these countries also contribute to curbing emissions. Brazil already has taken a first step in this direction at conferences in Copenhagen and Cancun, to confirm voluntary national targets to reduce GHG emissions. Brazil faces the dual challenge of promoting development and reducing GHG emissions. In this context, this paper aims to study alternative climate policies in Brazil, widely discussed in the international arena, such as carbon pricing policies (carbon taxation). The distributive impact on households, for example, is a new result in Brazil's literature. There are many examples of national policies already in place that could serve as an example to the proposition of similar schemes in Brazil. In the Brazilian case, the results indicate that ambitious emissions reduction should be associated with longer periods of time, and less ambitious goals to shorter periods, due to the structure of the current Brazilian energy matrix, intensive in low-carbon energy sources. In terms of the effects on income classes a carbon tax may affect more strongly the poorest households, but compensation policies could fulfill a goal fairer, making policy more progressive.

KEYWORDS: Low-carbon economy, Carbon Taxes, Distribution Impacts, Computable General Equilibrium.

¹ Trabalho desenvolvido no NEMEA-Núcleo de Estudos em Modelagem Econômica e Ambiental Aplicada, do Cedeplar-UFMG, com o apoio da RedeClima.

* Doutora em Economia (Cedeplar-UFMG) e Professora Auxiliar, FACE-UFMG. Pesquisadora da RedeCLIMA. e-mail: alinesmagalhaes@hotmail.com

** Professor Associado, Cedeplar e FACE-UFMG. Bolsista de Produtividade em Pesquisa Nivel 2 – CNPq, Pesquisador da RedeCLIMA. e-mail: epdomin@cedeplar.ufmg.br.

INTRODUÇÃO

Em maio de 2011, a cidade de São Paulo adotou uma lei que previa o banimento das sacolas plásticas nos supermercados da cidade, a partir de janeiro de 2012. Depois de uma longa discussão e impasses jurídicos, a medida foi implementada e gerou reclamações de consumidores, supermercados e da indústria plástica. Em maio de 2012, o ministério público cancelou o acordo que previa o banimento das sacolas, e estas voltaram a ser distribuídas gratuitamente. Processo semelhante ocorreu em Belo Horizonte, com a proibição da venda das sacolas plásticas e também da sua distribuição gratuita, obrigando o uso de material reutilizável pelos consumidores, não antes de uma longa polêmica jurídica. Estes exemplos ilustram a dificuldade na substituição de um produto com notáveis externalidades ambientais negativas (sacolas plásticas) e o problema da incidência dos custos dessa mudança (setor plástico, supermercados, consumidores). Este artigo analisa um problema ambiental semelhante, mas de uma ampla externalidade negativa global, cuja solução pode implicar custos significativos para a economia brasileira: as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o problema decorrente da mudança climática.

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio-ambiente são as mudanças climáticas, originadas pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Desde o início do sec. XXI fortaleceram-se as evidências empíricas de que a atividade humana alterou de maneira significativa a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Essa acumulação de GEE tem sido vista como a causa mais provável da elevação da temperatura e de outras mudanças climáticas observadas no século XX. As projeções climáticas indicam que a magnitude do impacto seria suficiente para mudar o clima na Terra e afetar intensamente diversas regiões, países e continentes.

A questão que se coloca atualmente não é mais se é certa ou incerta a mudança climática, mas sim como se precaver, quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado. A partir destas constatações, um conjunto de polícias internacionais (como o Protocolo de Quioto) e nacionais tem sido estabelecidas. O que estas buscam, em geral, é uma “Economia de baixo carbono”. Esse termo foi pela primeira vez utilizado no relatório do Departamento de Transporte e do Meio Ambiente do Reino Unido, em 2003, intitulado “*Our energy future-creating a low carbon economy*”. Uma economia de baixo carbono pode ser definida como uma economia com baixa emissão de gases de efeito estufa, incluindo, dentre outras ações, implementações de políticas de mitigação de GEE (UK ENERGY WHITE PAPER, 2003).

No estágio atual, existem muitas incertezas sobre metas, políticas e responsabilidades quanto a mitigação, e alguns estudos apontam as principais dificuldades e possibilidades que estariam envolvidas nas negociações internacionais após o Protocolo de Quioto, que expirou em 2012 (ver OLMSTEAD e STAVINS, 2010; METCALF e WEISBACH, 2010; NORDHAUS, 2008; RONG, 2010; ZHANG, 2009; KLEPPER, 2011, FRANKEL, 2008). Questões comumente debatidas, e de fundamental interesse para países como o Brasil, são a efetividade e abrangência de um novo acordo. Este será certamente um dos principais focos de futuras negociações. Os países em desenvolvimento, especialmente Brasil, China e Índia serão chamados a se posicionarem em relação à mitigação dos gases de efeito estufa, não pelo tamanho absoluto de sua população, economia, consumo de energia ou emissões de CO₂ (dióxido de carbono), mas notadamente pelo rápido crescimento do PIB e emissões. Espera-se que as emissões de CO₂ dos países em desenvolvimento representem mais de metade das emissões globais até 2030, embora em termos per capita, os países desenvolvidos ainda estejam bem à frente. (BOSETTI e BUCHNER, 2009). Esses países já tem enfrentado uma crescente pressão para reduzir suas emissões de carbono (DIRINGER, 2008).

Por outro lado, as oportunidades de reduções de emissões a baixo custo podem ser maiores para os países em desenvolvimento (WATSON, 2001). Conforme estimativa de Edmonds *et al* (1997), se os principais países em desenvolvimento fossem incluídos entre os países do Protocolo de Quioto com metas obrigatórias de emissão, os custos totais envolvendo a redução global de GEE poderiam ser reduzidos em até 50%. Portanto, consideradas as devidas diferenças com relação à China e Índia, o Brasil poderá ter também metas obrigatórias de redução de emissões num futuro acordo pós-Protocolo de Quioto, o que, pelo menos em tese, estimula o país a contribuir mais ativamente para o combate do fenômeno da mudança climática após 2012.

Um primeiro passo já foi dado neste sentido nas conferências em Copenhague (2009) e em Cancun (2010), nos quais o Brasil confirmou as suas metas nacionais voluntárias de redução de emissões de gases de

efeito estufa, com reduções entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Estas metas foram definidas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), aprovada pelo Congresso Nacional (Lei no 12.187) em 2009. No caso brasileiro, as autoridades têm apontado para o controle do desflorestamento, especialmente na Amazônia, como a principal proposta do país para reduções de emissões de GEE. Deve-se ressaltar, no entanto, que conforme apontam as estimativas mais recentes de queda na taxa de desmatamento e, por conseguinte das emissões associadas à mudança no uso da terra (INPE, 2012), é provável que nos próximos anos, a participação desta fonte de emissões se reduza consideravelmente, deixando de ser considerada a principal fonte de emissões de GEE no Brasil.

Não se pode esquecer, portanto, do papel relevante que assume as emissões derivadas do uso de combustíveis e de processos produtivos, como a agropecuária, por exemplo. Essa importância é intensificada, sobretudo, em razão das tendências de aumento das emissões do setor energético, de transporte (principalmente em relação ao uso do diesel), refino de petróleo e do setor industrial. Para 2030, por exemplo, as emissões projetadas do setor energético, excluindo combustíveis para transporte, são de um aumento de 97% ou mais do que 25% das emissões nacionais (GOUVELLO et. al, 2010, VIOLA, 2009).

Há um grande debate em curso sobre a forma das políticas de mitigação: por mecanismos econômicos, como impostos, subsídios e mercado de carbono, ou regulamentações (regulamentações governamentais, padrões de desempenho e programas voluntários, por exemplo). Um cenário alternativo pós-Quito, com a não-ratificação de um acordo global, e que tem sido discutido internacionalmente seria a criação e fortalecimento de políticas nacionais de redução de GEE, que poderiam tomar a forma de políticas de tributação ou mercados de carbono. Existem muitos exemplos de políticas nacionais já em funcionamento. Dinamarca e Suécia, por exemplo, são os principais países a adotarem taxas sobre o carbono e alcançar as metas de redução de emissões propostas no Protocolo de Quioto. O maior mercado de carbono do mundo é o da União Europeia, o EU ETS (*European Union's Emissions Trade Scheme*), que tem servido como exemplo na proposição de esquemas semelhantes nos Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia.

No caso brasileiro, a PNMC tem por base ações de monitoramento, fiscalização, controle, licenciamento e linhas de financiamento. No entanto, nenhum instrumento especificamente destinado a criar uma sinalização de preço para a redução das emissões de GEE foi proposto, instrumentos estes amplamente discutidos no cenário internacional. A criação de instrumentos econômicos preço-induzidos para as emissões de gases de efeito estufa - tais como a aplicação de um imposto sobre as emissões de carbono ou de um sistema de comércio de emissões entre os setores - pode ser uma alternativa de menor custo para ampliar o leque de opções disponíveis no âmbito da Política Nacional de Mudança do Clima proposta pelo Brasil. É recomendável, contudo, análises em torno da relação de custo-efetividade de tais políticas.

Um tema ainda pouco discutido na economia brasileira é a viabilidade e o custo dessas políticas de redução de emissões de GEE preço-induzidas. Existem poucas estimativas dos impactos que estes mecanismos teriam sobre a economia, setores e emissões. A incidência destas políticas sobre as famílias e os impactos de prováveis políticas de compensação, ainda é uma lacuna na literatura. Uma política agressiva de redução de emissão de GEE poderia representar um obstáculo ao crescimento ou ser regressiva do ponto de vista distributivo. Como muitos outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as suas emissões.

Este artigo objetiva estudar alternativas de políticas de redução de emissões preço-induzidas, como a tributação de carbono, e sua incidência sobre a parcela das emissões relacionadas ao uso de combustíveis e à atividade produtiva, que nos últimos tempos tem ganhado proeminência no cenário internacional. Assim, diante destes cenários e do novo contexto pós-2012, mostra-se importante estudar as perspectivas e políticas para o desenvolvimento de uma “economia de baixo carbono no Brasil”. Tais alternativas podem configurar uma forma mais ativa do país contribuir para o combate ao aquecimento global e liderar esta tendência entre países em desenvolvimento.

Em termos metodológicos, utilizamos um modelo aplicado de equilíbrio geral dinâmico-recursivo, construído para a realidade e especificidade brasileira, com detalhamento energético e ambiental, especialmente capacitado para a análise de políticas de redução de GEE sobre a economia. O modelo é inovador em vários aspectos, desde sua alta desagregação de produtos energéticos e setores, passando pela incorporação de mecanismos de dinâmica recursiva até, e notadamente, à sua especificação energética e ambiental diferenciada. Este artigo está organizado em 4 seções, além desta introdução: o primeiro discute os

aspectos econômicos das políticas de mitigação abordada por este artigo. O segundo detalha a metodologia desenvolvida para projetar os efeitos de políticas de mitigação sobre a economia brasileira. Os principais resultados das políticas de mitigação simuladas são reportados na seção 3. E por fim, tecem-se as conclusões finais.

1. Aspectos econômicos das políticas climáticas nacionais

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 desse fenômeno é suficiente para mudar largamente o clima na Terra e afetar intensamente algumas regiões, países e continentes. A mitigação de gases de estufa tem o caráter de um “bem público”² global cujos benefícios atingem a todos, ao passo que os custos são repassados àqueles que financiam a mitigação. Em contraste com outros bens públicos, como segurança pública, benefícios da mitigação não são imediatos, e pelo contrário, só podem ser sentidos no futuro, o que compromete, muitas vezes, a implementação de políticas.

Um importante elemento é que as políticas climáticas devem corrigir as externalidades³ decorrentes de problemas ambientais, como é o caso das emissões de GEE. Do ponto de vista econômico, o objetivo de uma política ambiental deve ser assegurar que os custos externos da poluição sejam totalmente absorvidos por aqueles responsáveis por ela.

Tradicionalmente, os instrumentos regulatórios têm sido mais frequentes na elaboração de políticas ambientais de redução de GEE. Entretanto, tais políticas apresentam certos limites e, em particular, vem sendo criticadas por certa rigidez e falta de eficiência econômica, principalmente no que concerne a questão das mudanças climáticas. Devido à natureza do problema, no qual gases como o CO₂ podem ser emitidos a partir de um grande número de fontes distintas, é especialmente complexo definir instrumentos regulatórios que alcancem um resultado efetivo de redução de emissões. Em geral, políticas de limitações são uniformes para diferentes fontes. Na prática, no entanto, os meios e custos de controle das emissões variam entre setores e empresas, muitas vezes substancialmente (UNCTAD, 2001; BEHER, 2007).

Para além dessas considerações, as normas regulatórias convencionais também não fornecem incentivos dinâmicos para o desenvolvimento, a adoção e a difusão de tecnologias ambientalmente e economicamente superiores. Uma vez que uma empresa satisfaça um padrão de desempenho, tem pouco incentivo para desenvolver ou adotar tecnologias mais limpas. Padrões tecnológicos são menos indicados que os de desempenho, pois inibem a inovação uma vez que, pela sua própria natureza, eles limitam as opções tecnológicas por parte das empresas (ALDY e STAVINS, 2009).

Em resposta a essas limitações da regulamentação ambiental para a questão das mudanças climáticas, abordagens baseadas em mecanismos de mercado têm sido amplamente discutidas. Como instrumento de mitigação mais eficiente, a precificação de carbono tem sido altamente recomendado por economistas e organizações internacionais (ALDY *et al*, 2008; GOULDER e PARRY, 2008; HEPBURN, 2006; NORDHAUS, 2008, UNDP, 2007, IMF, 2008). Conforme aponta o Relatório de Desenvolvimento Humano do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, as políticas baseadas em mecanismos de mercado, como a taxa de carbono, são uma condição necessária para a transição para uma economia de baixo carbono, que aliado ao papel dos governos na definição de normas regulatórias e incentivo à pesquisa e desenvolvimento podem trazer resultados efetivos para a redução das emissões (UNDP, 2007).

Dinamarca, Finlândia, Suécia, Holanda e Noruega foram os primeiros a adotar impostos sobre o carbono e, como tal, servir de base para implementações em outros países e cidades. (BARANZANI, 2000).

O Imposto de Pigou (PIGOU, 1920) é a base teórica da qual se derivaram as políticas de taxa de carbono, que tratam de corrigir as externalidades provocadas por custos marginais externos, não contabilizados pelas decisões dos agentes econômicos. O imposto de carbono é concebido para ser um

² Bens públicos são definidos como aqueles bens cujos indivíduos não podem ser excluídos do seu consumo (não-excluíveis) e a oferta independe do número de agentes atingidos (não-rival). Assim, os direitos de propriedade de bens públicos não estão definidos e, portanto, as trocas com outros bens acabam não se realizando eficientemente no mercado competitivo e é necessária a intervenção de políticas públicas para que a eficiência seja alcançada.

³ Pigou propôs a internalização das externalidades mediante mecanismos de mercado (taxas pigouvianas) como um meio para equiparar os custos privados aos custos sociais.

imposto sobre o consumo de bens intensivos em carbono, sendo proporcional ao conteúdo de carbono e ao dano marginal das emissões de CO₂. Quando o critério do dano é substituído por uma meta de redução de emissões, a taxa ideal é determinada até o ponto em que a restrição é atendida (PROOST e REGEMORTER, 1992). Enquanto a maioria dos impostos distorce os incentivos, um imposto ambiental corrige uma distorção, ou seja, as externalidades negativas decorrentes das emissões de GEE, melhorando a qualidade ambiental (PEARCE, 1991, CANSIER e KRUMM, 1997). Assim, um imposto ou taxaço de carbono deve ser considerado um imposto benéfico, pois corrige uma falha de mercado.

Um imposto eleva preços relativos de produtos e serviços de acordo com sua intensidade de carbono e assim, desestimula seu uso. A precificação do carbono, segundo Nordhaus (2008), permite atingir quatro objetivos: i) sinaliza aos consumidores quais bens e serviços são de elevado conteúdo de carbono e devem ser utilizados com moderação; ii) mostra às firmas quais insumos são mais carbono-intensivos e quais são menos, induzindo-as à substituição por insumos de baixo-carbono; iii) proporciona incentivos de mercado para a inovação e desenvolvimento de produtos de baixo conteúdo de carbono; e iv) permite que os três mecanismos acima sejam postos em operação ao menor custo de informação possível. Logo, o efeito geral é a minimização dos custos de controle (BAUMOL e OATES, 1971, 1988). Simulações sugerem que o uso da precificação de carbono (impostos ou licenças negociáveis) pode reduzir os custos de cumprimento das metas em até 50% (TIETENBERG, 1990). Além disso, taxas de carbono funcionam como um incentivo contínuo para a adoção de tecnologias limpas e conservação de energia.

Diversos trabalhos tem se interessado pelos impactos que as políticas de taxaço de carbono teriam sobre os países em desenvolvimento, com destaque para a China (JIANG *et al.*, 2009, LU *et al.*, 2010, XIE *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2011, WANG *et al.*, 2011, dentre outros). Os resultados são ambíguos em termos dos custos associados às políticas de mitigação.

Mesmo considerando taxas de carbono instrumentos custo-eficientes para atingir uma meta de redução de emissões, devido a seu impacto direto sobre os preços, os custos impostos à economia podem ser não desprezíveis, sendo fundamental considerar ainda incentivos indiretos que possam surgir a partir do uso das receitas fiscais. Os governos podem então, adotar uma postura fiscalmente neutra, utilizando as receitas para financiar investimentos em tecnologias limpas ou minimizar efeitos negativos dos impostos sobre a economia. A gestão das receitas é, portanto, um elemento essencial para aumentar a aceitabilidade e, possivelmente, até mesmo aumentar a sua eficácia sobre outros instrumentos. Existem várias opções de redistribuição das receitas, tais como (BARANZANI, 2000):

- 1) Reforma fiscal (ou neutralidade das receitas). Nesta opção, os impostos “verdes” são utilizados para diminuir outros impostos, de modo que a situação orçamental do governo não é alterada e a carga tributária permanece a mesma.
- 2) Direcionamento das receitas para o financiamento de programas ambientais específicos (por exemplo, fundos e projetos ambientais, pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias)
- 3) Medidas de compensação: neste caso, as receitas fiscais são usadas para compensar alguns dos mais afetados pelo imposto.

Impactos distributivos também têm sido um dos principais temas na agenda política acerca da introdução de impostos de carbono. Mesmo sendo utilizados para corrigir uma externalidade negativa ou “mal” econômico de maneira custo-efetiva, a distribuição do seu custo parece um elemento fundamental para sua aceitabilidade.

Grande parte dos estudos existentes sobre as implicações distributivas se concentra na elucidação dos impactos sobre diferentes grupos de renda. À primeira vista, espera-se que os impostos de carbono sejam regressivos, ou seja, tenham uma incidência proporcionalmente maior sobre famílias de baixa renda, dado que nessas famílias gasta-se uma fração maior de renda disponível em energia. No entanto, essa suposição inicial merece uma análise mais aprofundada uma vez que os impactos distributivos podem ser complexos de prever, dado que dependem de alguns fatores (BARANZINI, 2000; METCALF, 2009):

- 1) Estrutura do consumo das famílias, que inclui as despesas com bens energéticos (por exemplo, carvão, gás natural e combustíveis).
- 2) Incidência do imposto, ou seja, se o imposto de carbono será totalmente repassado aos consumidores através de preços mais altos de energia e de produtos, ou se produtores e trabalhadores arcarão com o ônus em termos de lucros e salários mais baixos, respectivamente.

- 3) A distribuição dos benefícios da melhoria da qualidade ambiental. Os impactos distributivos de um imposto sobre o carbono dependem não apenas da distribuição dos custos, mas também de como os benefícios ambientais são distribuídos entre a população.
- 4) O uso das receitas geradas a partir de uma taxaço de carbono poderia reduzir “*ex-post*” os potenciais impactos regressivos sobre a população. Neste contexto, as opções variam desde uma redistribuição *lump-sum* à redução de impostos distorcivos tais como os que incidem sobre o trabalho e valor adicionado.

A maioria dos estudos empíricos mostram que a imposição de um preço sobre o carbono é geralmente regressiva, no qual as famílias de menor renda pagam uma parcela relativamente maior de sua renda com os impostos. Encontra-se exemplos para a Irlanda (VERDE e TOL, 2009), o Reino Unido (FENG *et al.*, 2010), a França (BUREAU, 2011) e os Estados Unidos, (RAUSCH, METCALF e REILLY, 2011). Alguns outros resultados, no entanto, apontam para um impacto progressivo de um imposto de carbono sobre as famílias, mesmo sem redistribuição de receitas (BARKER e KOHLER, 1998), inclusive em alguns países em desenvolvimento. Brennera, Riddleb, e Boyce (2007) e Ojha (2011) retratam que um imposto de carbono teria impactos menos intensos sobre as famílias de baixa renda na China e Índia, respectivamente (SHIM, 2011). Este artigo também contribui com esta literatura ao estimar o impacto sobre as famílias no Brasil, distribuídas em decis de renda.

2. Metodologia

A abordagem de equilíbrio geral para avaliar impactos das políticas ambientais em uma economia vem sendo crescentemente utilizada. A razão para este interesse é natural. Uma política ambiental que visa reduzir significativamente as emissões de poluição podem ter efeitos significativos sobre preços, quantidades e também sobre a estrutura de uma economia. O comportamento de produtores e consumidores é afetado pelos efeitos das emissões de poluição na produção e consumo, e pela implementação de políticas de controle de poluição. Além disso, possibilita analisar impactos distributivos e sobre o bem-estar das políticas, a partir de diferentes instrumentos fiscais, como quotas, impostos, subsídios ou transferências de renda, cujos efeitos podem ser transmitidos através dos diversos mercados (WING, 2004, TOURINHO *et al.*, 2003). Em anos mais recentes, a literatura tem se debruçado em estudar os efeitos de políticas de redução de emissão de gases de efeito estufa (NORDHAUS, 2008, MANNE, 2005, ROSE, 2009, WEYANT, 1996; SPRINGER, 2003; CLARKE *et al.*, 2009, VIRGUIER *et al.*, 2003, JORGENSON e WILCOXEN, 1993 e BYE, 2000, dentre outros).

No Brasil, a literatura sobre o tema é relativamente recente. Aplicações que consideram políticas de redução de gases de efeito estufa incluem: Guilhoto *et al.*, (2002); Tourinho *et al.*, (2003); Rocha (2003); Hilgemberg *et al.* (2005), Ferreira Filho e Rocha (2007); Feijó e Porto Jr. (2009); Lima (2011); Silva e Gurgel (2012), Gurgel (2012).

Ferreira Filho e Rocha (2007) avaliaram um conjunto de políticas de taxaço de carbono sob diferentes hipóteses em simulações com um modelo EGC para o Brasil – MOSAICO-GEE. Esta é uma referencia importante, pois se baseia na estrutura ambiental do modelo MMRF-Green (ADAMS *et al.*, 2002), modelo de referencia para o módulo ambiental deste artigo. No cenário mais amplo de taxaço sobre o uso de combustíveis e nível de atividade dos setores, os resultados da imposição de um imposto em R\$10/tonelada de CO₂-e indicam uma queda de -0,39% do PIB no longo prazo a uma redução de -4,96% nas emissões totais.

Em trabalhos mais recentes e mais próximos do tema deste artigo, Silva e Gurgel (2012) e Gurgel (2012) estimam os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil, utilizando o modelo EPPA (*Emissions Prediction and Policy Analysis*), um modelo global, desenvolvido no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) (PALTSEV *et al.*, 2005). No trabalho de Silva e Gurgel (2012), simulações com metas de redução de emissões progressivas de 3% a 30% no período de 2015 a 2050, representam impostos que chegam a US\$ 209, US\$151 e US\$ 142 por tonelada de CO₂ equivalente em 2050 nos setores de serviços, transportes e intensivos em energia, respectivamente. As metas, no entanto, geram impactos negativos pequenos, levando a uma perda acumulada de apenas 1% a 2% do PIB.

Os resultados apresentados por Gurgel (2012) sugerem que políticas de metas de redução de emissões no Brasil, dependendo dos prazos para o alcance das metas, podem ter efeitos mais severos em termos do

custo da política. Uma meta de redução de emissões em torno de 5% para a agropecuária e uso de energia conjugado a uma queda de 56% nas emissões derivadas do uso da terra até 2020, representam custos pequenos em relação ao PIB (-0,2% em relação ao cenário base). Contudo, a intensificação das metas podem gerar perdas crescentes, que chegam a 4% do PIB em 2050.

Conforme se pode observar, a literatura nacional sobre a análise de impactos de políticas de mitigação ou de baixo carbono ainda tem alto potencial de desenvolvimento. A maior parte dos modelos utilizados se baseiam em modelos de insumo-produto ou modelos estáticos EGC agregados. Em que pesem esses referenciais, abre-se espaço para o desenvolvimento de modelos mais sofisticados, com maior detalhamento energético e ambiental para a avaliação dos impactos de políticas de mitigação das mudanças climáticas no Brasil. Este artigo contribui com esta literatura ao desenvolver um modelo EGC nacional, dinâmico, especialmente construído para a realidade e especificidade brasileira.

2.1 Modelo BeGreen: especificação e calibragem

O modelo de equilíbrio geral computável (EGC) utilizado é denominado BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*). O BeGreen incorpora três importantes avanços em relação aos modelos EGC brasileiros: i) um módulo de detalhada especificação energética, ii) um módulo ambiental que permite a projeção de políticas de redução de emissões, e iii) uma estrutura de dinâmica recursiva.

Os dois primeiros elementos são fundamentais para os objetivos deste trabalho, na medida em que permitem analisar, consistentemente, políticas de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) para a economia brasileira a partir da incorporação de um módulo detalhado de especificação energética e ambiental. Além disso, o modelo é calibrado para os dados mais recentes das contas nacionais, da matriz de insumo-produto e do inventário brasileiro de emissões (2005). A estrutura de dinâmica recursiva agrega mais um diferencial. Por se tratar de uma questão de longo prazo, as respostas às políticas dependem significativamente das projeções de um cenário base para a economia, envolvendo pressuposições acerca das taxas de crescimento de inúmeras variáveis determinantes, tais como PIB, população, consumo, investimento, para vários anos. Este aspecto possibilita a implementação de simulações datadas em que as restrições de emissões de GEE são relativas a um cenário de referência como propõe a Política Nacional da Mudança do Clima.

Estas características em modelos EGC (dinâmica recursiva e detalhada especificação energética e ambiental) são relativamente novas na literatura brasileira. O modelo BeGreen configura-se como o primeiro modelo EGC de dinâmica recursiva para a economia brasileira capacitado à análise ambiental e energética. O banco de dados inclui um elevado nível de desagregação de produtos e setores, possibilitando o tratamento detalhado de energia e emissões. Isso potencializa a capacidade do modelo para analisar os impactos de políticas de mitigação de gases de efeito estufa. O modelo é multi-produto, composto por 124 produtos e 58 setores, conforme indicado no quadro 3 e 4, respectivamente. Soma-se ainda 14 componentes da demanda final (consumo das famílias – 10 famílias representativas, consumo do governo, investimento, exportações e estoques), três elementos de fatores primários (capital, trabalho e terra), dois setores de margens (comércio e transportes), importações por produto para cada um dos 58 setores e 14 componentes da demanda final, um agregado de impostos indiretos e um agregado de impostos sobre a produção.

Em linhas gerais, a estrutura central do modelo EGC é composta 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 nacionais são definidos nesse bloco, como nível de emprego, saldo comercial e índices de preços. Os setores produtivos minimizam custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala. Um dos diferenciais do modelo refere-se à especificação de vetores tecnológicos em setores intensivos em energia e compostos energéticos para os demais setores.

No modelo BeGreen um esforço foi feito para se mover em direção ao maior realismo da abordagem “bottom-up” na modelagem de setores intensivos em energia. Assim, o modelo BeGreen traz como inovação para os modelos brasileiros a abordagem *bottom-up* conhecida como “Vetor Tecnológico” (MCDUGALL, 1993; HINCHY e HANSLOW, 1996; ABARE, 1996) em setores particularmente intensivos em energia, onde as opções de substituição de insumos são relevantes para o propósito de simular políticas de mitigação de gases de efeito estufa. As diferentes tecnologias podem ser parcialmente substituídas (hipótese de

substitubilidade imperfeita) de acordo com funções de produção CRESH (*constant ratio of elasticities of substitution, homothetic*) (HANOCH, 1971; DIXON *et al*, 1982). Tal estrutura foi inspirada no modelo ABARE-GTEM (*Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics Global Trade and Environment Model*), modelo EGC dinâmico para o tratamento de questões ambientais globais (ABARE, 1996). A especificação de vetores tecnológicos possibilita a introdução de uma restrição sobre a substituição entre os insumos, tornando-a consistente com as características de tecnologias específicas e conhecidas. Isto evita a possibilidade de obtenção de substituição ou combinação de insumos tecnicamente não factíveis. No modelo BeGreen, dois setores se enquadram nesta categoria por apresentarem tecnologias de produção bem caracterizadas: Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados.

No processo produtivo dos setores modelados por compostos energéticos, as firmas escolhem a composição de insumos energéticos de três compostos: composto renovável, auto geração de energia elétrica e composto não renovável.

As famílias estão desagregadas de acordo com decis de renda obtidos a partir dos dados da POF, totalizando 10 famílias representativas. A demanda das famílias é especificada a partir de uma função de utilidade não-homotética de Stone-Geary (PETER *et al*, 1996). A composição do consumo por produto entre doméstico e importado é controlada por meio de funções de elasticidade de substituição constante (CES). As exportações setoriais respondem a curvas de demanda negativamente associadas aos custos domésticos de produção e positivamente afetadas pela expansão exógena da renda internacional, adotando-se a hipótese de país pequeno no comércio internacional. O consumo do governo é tipicamente exógeno, podendo estar associado ou não ao consumo das famílias ou à arrecadação de impostos. Os estoques se acumulam de acordo com a variação da produção.

A especificação de dinâmica recursiva é baseada na modelagem do comportamento intertemporal e em resultados de períodos anteriores (*backward looking*). As condições econômicas correntes, tais como a disponibilidade de capital, são endogenamente dependentes dos períodos posteriores, mas permanecem não afetadas por expectativas de *forward-looking*. Deste modo, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento inter-setorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas à taxa de depreciação e taxas de retorno. Além disso, assume-se um amortecimento das respostas do investimento. O mercado de trabalho também apresenta um elemento de ajuste intertemporal, que envolve três variáveis: salário real, emprego atual e emprego tendencial.

Além das especificações do núcleo do modelo, anteriormente relatadas, o modelo BeGreen tem acoplado um módulo ambiental inspirado no modelo MMRF-Green (ADAMS *et al*, 2002). O modelo trata as emissões de forma detalhada, separando-as por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias), e atividade emissora. As emissões no modelo estão associadas ao uso de combustíveis (12 combustíveis no total) ou ao nível de atividade do setor, tais como emissões da agropecuária (cuja causa repousa na fermentação entérica de ruminantes, cultivo de arroz e uso de fertilizantes notadamente, que é fonte importante das emissões brasileiras). O modelo permite calcular endogenamente o preço do carbono ou custo de redução de emissões pela imposição de metas de emissões de GEE. Esse módulo é responsável pela transformação destes preços ou impostos físicos da taxação de carbono em alíquotas *ad-valorem*, que alimentam o núcleo do modelo. A partir dos resultados de determinadas variáveis (uso de combustível pelos setores, nível de atividade e consumo das famílias), o módulo ambiental calcula as variações nas emissões.

A emissão no uso de combustíveis é modelada como diretamente proporcional a seu uso, assim como as emissões de atividade em relação ao produto das indústrias relacionadas. Não há no modelo inovações tecnológicas endógenas para o caso do uso de combustíveis fósseis, que, por exemplo, permitam que a queima de carvão libere menos CO₂ por tonelada utilizada⁴.

Contudo, há a possibilidade de medidas de abatimento endógeno sobre as emissões relacionadas ao nível de atividade produtiva em resposta a políticas de mitigação de GEE. Outro mecanismo importante do modelo é a possibilidade de devolução do montante da receita com os impostos através de uma compensação de renda ou um subsídio (imposto negativo) sobre as compras das famílias. Esta devolução, no entanto, é especificada de forma a permitir que apenas determinada parcela das receitas sejam compensadas. Assim,

⁴ Os setores, por outro lado, podem reduzir suas emissões pela substituição de insumos energéticos, via mudança de preços relativos.

abre-se a possibilidade tanto de devolução total das receitas (100% de devolução), quanto a devolução em um nível intermediário.

A Tabela 1 resume a base de dados de emissões do modelo BeGreen, que se baseiam nas informações do Balanço Energético e do Inventário Brasileiro de Emissões, indicando um volume de 882.018 Gg CO₂-e⁵ em 2005. As emissões derivadas do uso de combustíveis representam 37% do volume de emissões ao passo que os outros 63% estão associados à atividade produtiva dos setores. Os setores de Pecuária e Pesca, Agricultura e Outros representam as maiores fontes de emissão nessa categoria. A atividade da pecuária por si só representa 60% das emissões derivadas da atividade produtiva no Brasil.

TABELA 1-Emissões associadas ao uso de combustíveis e processo produtivo no Brasil (ano base 2005)

Uso de Combustíveis	Emissão (Gg CO ₂ -e)	Part.	Atividade produtiva (processos produtivos)	Emissão (Gg CO ₂ -e)	Part.
Óleo diesel	98470	30%	Pecuária e Pesca	332515	60.3%
Gasolina	39073	12%	Agricultura e Outros	83256	15.1%
Carvão mineral	32397	10%	Água, Esgoto e Limpeza Urbana	41053	7.4%
Gás Natural	30014	9%	Fabricação de Aço e Derivados	38283	6.9%
Carvão vegetal	25618	8%	Petróleo e Gás	15967	2.9%
Óleo combustível	21026	6%	Cimento	14349	2.6%
Álcool	16973	5%	Produtos Químicos	11450	2.1%
Outros Refino Petróleo	16570	5%	Outros Produtos Minerais Não Metálicos	5604	1.0%
Coque	15979	5%	Máquinas e Equipamentos	3695	0.7%
Querosene	15250	5%	Metais Não Ferrosos	3370	0.6%
Carvão metalúrgico	12356	4%	Outras Indústrias Extrativas	1986	0.4%
GLP	6618	2%	Máquinas Elétricas e Outros	145.79	0.0%
Emissões pelo Uso de Combustíveis	330344	100%	Emissões por Atividade Produtiva	551674	100%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário Brasileiro e Balanço Energético.

2.2 Simulações e definição dos choques de políticas de mitigação de GEE

Nesta seção, reportam-se os procedimentos utilizados nas simulações de políticas mitigatórias de GEE para uma economia de baixo carbono. Os mecanismos de dinâmica recursiva permitem a utilização explicitamente temporal do modelo EGC. As variáveis endógenas se ajustam ao longo do período de análise após os choques iniciais, tanto no cenário base (ou cenário de referência) quanto no cenário de política, que inclui choques específicos das simulações.

A política estudada neste artigo refere-se à imposição de metas de redução de emissão sobre a economia, alcançada através da taxação de carbono. Nessa política, os limites impostos às emissões aplicam-se às emissões provenientes do uso de energia e da atividade produtiva dos setores, incluindo, por exemplo, as emissões decorrentes da produção agropecuária. O preço do carbono para se atingir determinada meta pode ser interpretado não somente como um imposto corretivo pigouviano (Pigou, 1920), mas também pode ser analisado como o custo de redução de emissões que as empresas ou setores se deparariam com a imposição de uma meta (ou limite) das suas emissões. Endogenamente, o modelo calcula este custo ou preço de carbono.

O cenário base representa qual seria a trajetória da economia sem políticas de restrição de emissões. A evolução da economia no período 2012-2030 é baseada em um cenário de crescimento do PIB, consumo das famílias, governo, investimento, exportações, além de pressuposições exógenas sobre o aumento de eficiência energética e produtividade da terra. O cenário base está ancorado em um crescimento médio da economia brasileira de 4% ao ano até 2030.

A diferença entre estas trajetórias (cenário base e o cenário com o choque de política) representa o efeito adicional da imposição de um controle de emissões. No ano de 2011 são aplicadas as políticas de controle de emissão na economia brasileira, para compor o cenário de política. Assim, novas simulações encadeadas, ano a ano, permitem-nos analisar os resultados até 2030, a partir de desvios acumulados em relação ao cenário base até 2030.

⁵ Coeficientes de emissão foram necessários para a transformação das emissões em uma unidade comum, CO₂ equivalente (CO₂-e), obtidos do Relatório Stern (STERN, 2006), a partir das estimativas de Global Warming Potential (GWP).

Tendo como motivação as metas de redução de emissão propostas pela Política Nacional foram realizadas simulações para diferentes metas de redução em relação ao cenário base em 2030: 5, 10, 15, 20 e 25%. Tais metas se traduzem em preços de carbono sobre as diferentes fontes de emissões de GEE (combustíveis e setores produtivos) e usuários (setores, famílias, etc). Se este mercado cobre todas as emissões e é competitivo como assume o modelo BeGreen, o preço de carbono será igual ao Custo Marginal de Abatimento para uma determinada meta, que reflete o custo de redução de emissões, podendo ser também traduzido como um preço implícito. Além disso, o custo marginal de abatimento será igual para todos os emissores, o que é uma condição custo-efetividade da política.

Como existe certa incerteza quanto aos mecanismos de redução de emissões, para cada meta foram implementadas 3 simulações com diferentes hipóteses: a primeira (Cenário 1), representa a simulação em que apenas são impostas restrições de emissões no montante das metas especificadas. O Cenário 2 inclui a hipótese de progresso tecnológico no qual há respostas de abatimento às emissões. O Cenário 3, por sua vez, representa o cenário no qual, além da imposição de metas, que representa uma tributação sobre o conteúdo de carbono, o imposto é devolvido sob a forma de renda ou subsídio ao consumo das famílias.

3 Resultados das Simulações de Políticas de Redução de Emissões de GEE na Economia Brasileira

Esta seção apresenta os impactos econômicos de políticas de imposição de metas de redução de emissões sobre a economia, que é atingida através da imposição de um preço sobre o carbono.

Deve-se ressaltar que considera-se apenas as emissões derivadas do uso de combustíveis, energia e atividade produtiva dos setores, parcela esta em que é mais razoável definir instrumentos preço-induzidos para o controle das emissões. Desse modo, as restrições incidem sobre esta parcela das emissões, que representavam cerca de 40% das emissões totais brasileiras em 2005⁶. Os 60% restantes eram decorrentes da mudança do uso da terra (desmatamento, conversão de florestas em pastos ou áreas agrícolas, por exemplo).

3.1 Cenário 1 - Metas de redução de emissões

A Tabela 2 sumariza e compara os principais efeitos agregados do controle de emissões no Brasil para cada meta de redução de emissões. As simulações consideram apenas a imposição de metas atingidas por meio da tributação dos insumos e bens intensivos em carbono.

Não é surpreendente a redução do PIB real sob cenários de imposição de metas de emissão. Uma meta de 5%, por exemplo, poderia resultar em um decréscimo acumulado do PIB em relação ao cenário base de -0,65% em 2030 e até -8,93%, se considerarmos uma meta ambiciosa de 25% de redução das emissões de GEE na economia brasileira. Cabe lembrar que este resultado representa uma redução relativa ao cenário base em 2030 e, portanto, não deve ser lido como uma queda absoluta do PIB. Em outras palavras, isso significa dizer que o crescimento do PIB passaria de 4,00% ao ano para cerca de 3,97% em média até 2030, considerando a política de restrição de emissões de 5%. No caso de uma redução mais expressiva das emissões (25% de redução), o crescimento do PIB passaria de 4,00% para 3,53% em média até 2030.

Esta queda pode ser conferida aos aumentos dos custos de produção associados ao pagamento de impostos de carbono ou, lido de outra forma, aos aumentos dos custos de abatimento das emissões devido a medidas de redução de emissões impostos aos setores.

A queda do PIB está associada ao comportamento do consumo das famílias, investimento e exportações. O consumo das famílias diminui sob um cenário de imposto de carbono. Uma razão é o aumento do preço dos bens, dado que um imposto sobre o carbono acrescenta custos adicionais à produção, e os preços tendem a subir na medida em que os produtores repassam o maior custo aos consumidores. As famílias respondem, assim, com um menor consumo. Esta queda, entretanto, pode ser parcialmente compensada através de uma devolução de imposto de carbono para famílias, que será analisado com maiores detalhes na próxima seção.

⁶ Deve-se ressaltar que a participação dessas emissões tende a crescer, dado o crescimento das emissões relativas ao setor energético atrelado à significativa redução das emissões pelo desmatamento (INPE, 2012).

TABELA 2 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Metas de redução de emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
	PIB real	-0.65	-1.91	-3.75	-6.08
Consumo das Famílias	-0.33	-1.03	-2.13	-3.63	-3.63
Investimento	-0.47	-1.20	-2.09	-3.08	-4.17
Exportações	-1.69	-4.64	-8.47	-12.81	-17.61
Importações	-0.11	0.14	0.90	2.13	3.78
Emprego	-0.57	-1.47	-2.57	-3.80	-5.19
Salário real	-5.4	-13.5	-23.0	-32.5	-42.0
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-5.1	-12.4	-20.3	-28.0	-35.2
Rentabilidade da terra	-8.1	-20.2	-33.9	-47.4	-59.8
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	15	36	59	83	106
Relações (var. % indicadores/var. % emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.13	0.19	0.25	0.30	0.36
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.07	0.10	0.14	0.18	0.15
Investimento/Redução de Emissões	0.09	0.12	0.14	0.15	0.17
Exportações/Redução de Emissões	0.34	0.46	0.56	0.64	0.70
Importações/Redução de Emissões	0.02	0.01	0.06	0.11	0.15

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

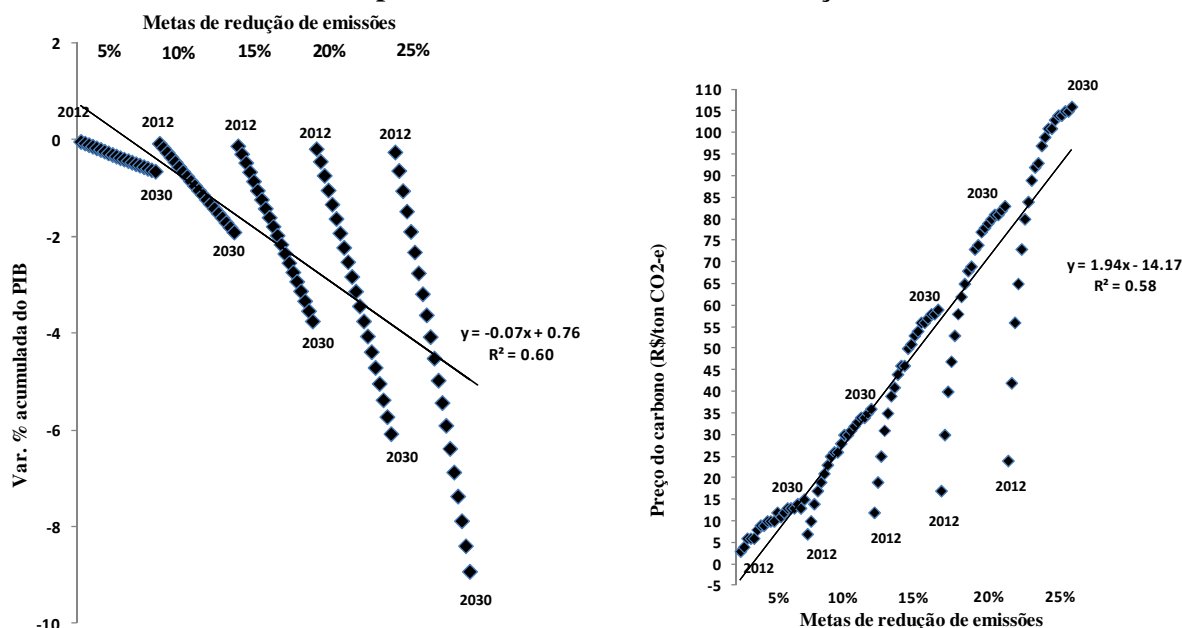
A redução do investimento, por seu turno, está ligada ao aumento de custos dos produtores e consequente redução da produção. Este resultado pode ser relacionado à rentabilidade dos fatores primários, principalmente do capital, que recua. É razoável ter como efeito uma queda na rentabilidade dos fatores primários, em razão da diminuição na demanda por estes fatores, como decorrência da redução da produção e da atividade econômica⁷. Os declínios na rentabilidade dos fatores primários indicam que a incidência do imposto de carbono não é repassada integralmente aos consumidores finais, sendo parcialmente absorvida pelos preços dos fatores.

As exportações também apresentariam um impacto negativo, de maior magnitude se comparada ao consumo e investimento. Esta queda deve-se ao efeito preço, pela elevação dos custos de produção, uma vez que sob a hipótese de país pequeno, as exportações variam inversamente com os preços domésticos. No caso das importações, os resultados indicam uma pequena queda ou mesmo um aumento da taxa de crescimento. Com o aumento de preços domésticos, e com uma apreciação real da moeda brasileira (taxa de câmbio nominal é fixa no modelo), as importações, em geral, seriam beneficiadas com a imposição de metas de redução de emissões. Isto até acontece nos primeiros anos da política, no qual se verifica um ligeiro aumento das importações. Porém, com a queda da atividade econômica ao longo dos anos, ocorre redução de preços domésticos para alguns bens, que conjugado a uma queda simultânea na renda produz uma queda das importações.

Na tabela 2 encontram-se ainda indicadores que medem a relação entre os custos das políticas para cada um dos agregados macroeconômicos e as metas de redução de emissões. A relação PIB/Redução de emissões, por exemplo, indica que a cada meta mais ambiciosa de redução de emissões, há um custo marginal de redução de emissões crescente. Este resultado está de acordo com a literatura, pois na medida em que a economia vai se tornando mais “limpa”, é cada vez mais difícil o abatimento de emissões, que implica custos crescentes. Isso pode ser confirmado pelas trajetórias dos custos de redução de emissões, representados na figura 1. A primeira figura apresenta, para cada uma das metas de redução de emissões, a trajetória da variação (queda) acumulada do PIB em relação ao cenário base, da esquerda para direita iniciando em 2012. Cada ponto representa o custo em termos do PIB a cada ano. É visível que ao se buscar atingir uma meta maior, a inclinação e distanciamento dos pontos se modificam no sentido de que se torna mais oneroso para a economia atingir metas cada vez mais ambiciosas no mesmo espaço de tempo.

⁷ A rentabilidade da terra cai mais acentuadamente, devido á hipóteses da simulação de que a oferta de terra é fixa.

FIGURA 1 - Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base e dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

A figura da segunda coluna (Figura 1) corrobora este resultado ao retratar a trajetória, ano a ano, dos preços de carbono implícitos em reais por tonelada de CO₂-e para cada meta de emissões. Uma meta progressiva de 5% de redução de emissões até 2030, por exemplo, requer preços de carbono entre R\$ 3/ton CO₂-e a R\$ 15/ ton CO₂-e no final do período. Conforme se pode visualizar tais custos tem uma escalada crescente, embora a taxas decrescentes. Assim, podemos nos voltar para as análises de Stern e Nordhaus. No caso brasileiro, metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos. A estratégia de uma meta ambiciosa em um curto período de tempo imporia um custo elevado para a economia brasileira.

Embora estes resultados sugiram uma queda relativa ao cenário base, em comparação a outros estudos (vide revisão de literatura) não são desprezíveis os custos impostos sobre a economia brasileira com a imposição de restrições de emissões. O custo da política pode ser justificado neste primeiro cenário por três motivos principais. O primeiro está relacionado ao próprio objetivo deste trabalho, que é estimar os custos e a incidência de políticas preço-induzidas para a parcela das emissões brasileiras decorrentes do uso de energia e da atividade produtiva, inspirado nas discussões internacionais em curso. Dessa forma, considera-se apenas as emissões derivadas do uso de combustíveis, energia e do nível de atividade dos setores⁸.

O segundo motivo relaciona-se a própria característica teórica do modelo, que assume retornos constantes de escala e, no caso do módulo ambiental, emissões proporcionais ao nível de atividade dos setores e uso de energia e combustíveis. Uma diferença que se pode destacar em relação aos estudos anteriores refere-se à alta desagregação do modelo, implicando maiores interações e interdependências setoriais, que podem intensificar os resultados. A análise de sensibilidade efetuada sobre os parâmetros e elasticidades mostrou que os resultados encontrados, considerando a especificação metodológica, são robustos para grande parte das variáveis.

⁸ Não são consideradas as emissões relacionadas à mudança do uso da terra, que se configura como a principal fonte de emissões no Brasil (cerca de 60% das emissões totais). Isto se justifica pelo fato de que as políticas de mitigação desta grande parcela das emissões brasileiras se baseiam no controle do desmatamento, que tem um enfoque de regulação, fiscalização e controle. Se a mitigação destas emissões fosse considerada, através de incentivos econômicos como mecanismos de compensação financeira como REDDs (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal) ou mesmo políticas de fiscalização, os custos de alcance das metas propostas poderia reduzir-se consideravelmente.

E por fim, os resultados desta seção não consideram a existência de nenhum tipo de mudança tecnológica ou cenários alternativos que possam reduzir as emissões dos setores ou compensar os indivíduos afetados pelas metas de emissões. A única possibilidade, neste primeiro cenário, é a substituição de insumos energéticos via mudança de preços relativos.

Para lidar com estas questões e ampliar o raio de resultados possíveis, as duas próximas seções tratam da possibilidade de devolução pelo governo de parte da receita arrecadada com o imposto de carbono; e também um cenário de mudança tecnológica endógena.

3.2 Cenário 2: Metas de redução de emissões via tributação e abatimento de emissões

No primeiro cenário discutido não se leva em conta mudanças tecnológicas dentro do processo produtivo que possam ocorrer decorrentes da imposição de metas de redução de emissões. Esta hipótese, contudo, pode não ser realista em cenários de longo prazo (FERREIRA FILHO e ROCHA, 2007)⁹. Para responder a esta possibilidade, o cenário apresentado nesta seção considera que a introdução de uma taxa de carbono causa uma reação por parte dos setores e firmas, fazendo com que haja um incentivo à adoção de tecnologias que reduzam as emissões decorrentes de processos produtivos. Além disso, esta inovação tem um custo de investimento para os setores. A mudança tecnológica é modelada baseada no valor do imposto, sendo diretamente proporcional a ele, através de uma constante de proporcionalidade. Como não existem estimativas para o valor deste parâmetro para a economia brasileira, utilizar-se-á valores conservadores de forma ilustrativa. Assume-se que um imposto de R\$100 por tonelada de CO₂ equivalente causariam uma redução de até 10% nas emissões associadas ao nível de atividade dos setores (ver Adams *et al.*, 2002).

Nesta seção descrevem-se os resultados do cenário no qual mudanças tecnológicas são consideradas. A tabela 3, dessa forma, apresenta os impactos de metas de redução de emissões sob este cenário como desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030.

A pressuposição adicional de abatimento de emissões nos setores produtivos tem um impacto importante de minimização dos custos em termos do PIB real, que recua 0,46% acumulado em relação ao cenário base em 2030. Como já mencionado, isso denota que o crescimento do PIB entre 2011 e 2030 passa de 4,00% ao ano (cenário base) para cerca de 3,98% ao ano considerando a política de restrição de emissões de 5%. O investimento na adoção de tecnologias menos poluentes pelos setores tende a potencializar a redução das emissões, e conseqüentemente, reduzir o custo marginal de mitigação de emissões. Metas de redução de emissões, por meio de mecanismos de mercado como a introdução de um imposto de carbono e ancorada por políticas que facilitem a mudança tecnológica nos setores, pode se configurar como uma alternativa custo-eficiente de uma política de mitigação de GEE na economia brasileira.

Analisando os resultados da tabela 3, verifica-se que, em linhas gerais, o consumo das famílias, investimento e exportações tem um melhor desempenho (menores quedas) se comparado ao cenário 1, onde não se considera a hipótese de abatimento. Estes resultados são justificados pelo fato de que a introdução de mudança tecnológica altera os custos de redução de emissões para o alcance das metas. Neste caso, os setores emissores pela atividade produtiva conseguem reduzir mais efetivamente as emissões a um menor custo, evitando o pagamento do imposto. Este custo repercute sobre os custos de produção setoriais, agora menos intensos que o projetado no cenário 1. Isto tem conseqüências como a menor redução do consumo das famílias, investimento e exportações.

⁹ Para uma comparação, cenário equivalente foi simulado no trabalho de FERREIRA FILHO e ROCHA (2007).

TABELA 3 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia com devolução do imposto às famílias e abatimento de emissões pelos setores. (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Metas de redução de emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
PIB real	-0.46	-1.26	-2.35	-3.72	-5.10
Consumo das Famílias	-0.22	-0.63	-1.24	-2.04	-2.04
Investimento	-0.34	-0.83	-1.41	-2.06	-2.69
Exportações	-1.24	-3.20	-5.71	-8.56	-11.19
Importações	-0.12	-0.06	0.24	0.79	1.42
Emprego	-0.40	-0.95	-1.60	-2.33	-3.20
Salário real	-4.1	-9.9	-16.5	-23.3	-28.9
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-3.8	-8.9	-14.4	-20.0	-24.7
Rentabilidade da terra	-6.0	-14.2	-23.6	-33.2	-41.7
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	10	24	40	57	75
Relações (var. % indicadores/var. % emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.09	0.13	0.16	0.19	0.20
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.04	0.06	0.08	0.10	0.08
Investimento/Redução de Emissões	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
Exportações/Redução de Emissões	0.25	0.32	0.38	0.43	0.45
Importações/Redução de Emissões	0.02	0.01	0.02	0.04	0.06

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

3.3 Cenário 3: Metas de redução de emissões com a devolução da receita da tributação para as famílias

Pode-se supor que, para o alcance das metas de redução de emissões, o governo efetivamente introduza um imposto de carbono sobre as fontes emissoras de GEEs, Simulou-se, nesta seção, os impactos das metas com a devolução da receita arrecadada dos impostos para as famílias. Este cenário, conforme visto no capítulo 1 é amplamente discutido na literatura como abordagens neutras para a formulação de políticas tributárias, com o intuito de minimizar os efeitos adversos da política sobre a economia. Na literatura, há várias possibilidades de devolução do imposto coletado, tais como, transferência *lump-sum*, compensação na renda, dentre outros. Neste artigo, três possibilidades de devolução foram simuladas: i) devolução via aumento da renda das famílias em proporção constante para todos os decis; ii) devolução via aumento da renda para os dois decis mais baixos de renda; iii) devolução via subsídio ao consumo das famílias. Estas hipóteses são plausíveis, dado que já tem sido praticado pelo governo brasileiro nos últimos anos. Além disso, no caso particular dos subsídios, parte significativa dos preços de combustíveis pode ser controlada pelo governo federal. Neste caso assume que apenas o montante da tributação direta que recai sobre o consumo das famílias seria devolvido sob a forma de subsídio. De acordo com a base de dados de emissões do modelo, o total emitido pelo uso de combustíveis e energia do setor residencial equivale a 5% das emissões totais. O valor devolvido, portanto, equivale ao montante arrecadado sobre estas emissões.

Dado o escopo do artigo, apresentar-se-á os resultados para a meta de redução de emissões em 5% em relação ao cenário base¹⁰. A tabela 4 projeta os impactos agregados da meta de redução de 5% adicionando-se a este cenário as diferentes hipóteses de devolução do imposto às famílias.

A primeira coluna da tabela reporta os resultados, já mostrados anteriormente, da imposição das metas sem nenhuma suposição de devolução. Em termos agregados, sob a pressuposição das diferentes hipóteses de devolução, observa-se uma queda menos intensa do consumo das famílias se comparado ao cenário sem devolução, com destaque para a hipótese de subsídio ao consumo, que reduz o consumo das famílias em 0,15%. Este resultado se reflete também em uma menor queda do PIB, que cai 0,59%.

¹⁰ Os resultados para as demais metas são análogos, diferindo apenas a magnitude dos impactos.

TABELA 4 - Impactos macroeconômicos de metas de redução de emissões sobre a economia com devolução do imposto às famílias via subsídio ao consumo. (var. % em 2030- desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Metas de redução de emissões de 5% em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)			
	Sem de devolução	Devolução via subsídio ao consumo	Devolução via renda	Devolução via renda - decis mais baixos
PIB real	-0.65	-0.59	-0.64	-0.65
Consumo das Famílias	-0.33	-0.15	-0.29	-0.29
Investimento	-0.47	-0.42	-0.47	-0.47
Exportações	-1.69	-1.91	-1.78	-1.79
Importações	-0.11	0.24	0.01	0.01
Emprego	-0.57	-0.51	-0.57	-0.58
Salário real	-5.4	-4.8	-5.4	-5.4
Pagamento aos fatores primários				
Rentabilidade do capital	-5.1	-4.6	-4.9	-5.0
Rentabilidade da terra	-8.1	-7.7	-7.9	-7.8
Redução total das emissões	-5	-5	-5	-5
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	15	15	14	14
Relações (var. % indicadores/var.% emissões)				
PIB/Redução de Emissões	0.13	0.12	0.13	0.13
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.07	0.03	0.06	0.06
Investimento/Redução de Emissões	0.09	0.08	0.09	0.09
Exportações/Redução de Emissões	0.34	0.38	0.36	0.36
Importações/Redução de Emissões	0.02	-0.05	0.00	0.00

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

3.3.1 Resultados por grupos de famílias

Uma política que eleva os preços dos bens intensivos em carbono, como os bens energéticos, ou que repercute sobre a cadeia alimentícia, pode ter impactos desproporcionais sobre as famílias. Uma das principais preocupações quando da introdução de taxas ou maiores custos sobre a economia diz respeito à equidade. Este artigo é o primeiro a considerar os efeitos distributivos sobre as famílias da imposição de metas de redução de emissões sobre a economia. O modelo BeGreen foi especialmente especificado para a análise da incidência da restrição de emissões por grupos de famílias, já que apresenta em sua especificação 10 famílias representativas, definidas de acordo com os decis de renda total por unidade familiar. As denominações H1 a H10 representam a desagregação das famílias baseadas em decis de renda, no qual H1 refere-se ao primeiro decil (famílias de mais baixa renda), ao passo que em H10 estão as famílias na faixa de maior renda. A Tabela 5 retrata a participação das famílias no consumo, de acordo com o banco de dados do modelo¹¹.

É notável a participação majoritária dos maiores decis de renda no consumo das famílias. Juntos, os dois últimos decis (H9 e H10) respondem por mais da metade do valor de compras das famílias (52%). Esta participação no consumo pode ser decomposta pelos bens energéticos do modelo, de forma a apontar o padrão dos gastos de cada decil, que se reflete nos resultados das simulações. Como pode ser visto na tabela 6, os decis mais baixos gastam uma proporção maior de sua renda com energia elétrica se comparado aos decis superiores. Em contrapartida, os últimos decis apresentam uma alta proporção do gasto em combustíveis fósseis, com especial destaque para a gasolina. No total, as famílias do menor decil de renda gastam cerca de 5,2% da renda no consumo de bens energéticos, ao passo que o mais alto decil, chega a 9,4%. Logo, do ponto de vista distributivo, faz sentido uma política que desonera a energia elétrica e tributa combustíveis, como a gasolina (como em fevereiro de 2003).

¹¹ É importante destacar, que as simulações foram realizadas com parâmetro de FRISCH constante para todas as famílias (-2,48). Este parâmetro mede a razão entre gastos de subsistência e gastos de não-subsistência (luxo) por produto para as famílias. Espera-se, pois, que tal razão seja maior para famílias pobres do que para famílias ricas, como é utilizado na literatura (FRISCH, 1929).

TABELA 5 - Participação das famílias no consumo e renda média, por decil de renda – 2005.

Famílias por decis de renda	Participação no Consumo	Renda Média (R\$)
H1	3%	210,71
H2	3%	379,11
H3	4%	523,81
H4	5%	674,80
H5	6%	859,31
H6	7%	1.103,00
H7	9%	1.431,09
H8	11%	1.954,89
H9	16%	3.000,83
H10	36%	8.000,76
Total	100%	-

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen

TABELA 6 - Participação dos bens energéticos no consumo das famílias - 2005

Bens energéticos	Consumo das Famílias (%)									
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10
Lenha	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
Carvão Vegetal	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
GLP	0.26	0.25	0.29	0.34	0.42	0.6	0.69	0.92	1.17	1.24
Gasolina	0.34	0.08	0.08	0.23	0.31	0.4	0.9	1.79	2.61	5.47
Óleo Diesel	0.1	0.17	0.08	0.19	0.15	0.13	0.17	0.24	0.28	0.31
Querosene	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Outros Refino de Petróleo	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.14	0.14
Álcool	0.12	0.12	0.26	0.33	0.43	0.35	0.59	0.67	0.82	0.4
Energia Elétrica	4.12	4.15	3.96	3.75	3.55	3.46	3.13	2.77	2.44	1.65
Gás Natural	0.23	0.23	0.22	0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	0.13	0.09
Total Bens Energéticos	5.2	5.1	4.9	5.1	5.1	5.2	5.8	6.7	7.6	9.4
Produtos agropecuários e alimentos	33.9	33.6	29.4	28.1	24.8	22.2	20.1	16.7	13.3	7.8
Serviços	26.5	28.0	31.5	32.3	35.5	38.3	40.7	44.0	46.9	55.5
Demais Insumos Intermediários	34.3	33.3	34.2	34.6	34.6	34.3	33.5	32.7	32.1	27.4
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen

Tendo em vista estes indicadores, a Tabela 7 retrata os impactos de uma tributação de carbono sobre o consumo de cada família representativa, para a meta de 5% de redução das emissões, para cada uma dos cenários da simulação.

Em linhas gerais, os resultados indicam que a política de taxaço tem efeitos menos intensos sobre a parcela das famílias com maior participação no consumo. Isto se deve ao fato de que a tributação impõe custos adicionais às famílias, principalmente por elevar o preço dos produtos tributados e que fazem parte da cesta de consumo. No cenário sem devolução, por exemplo, as famílias de mais baixa renda (decil H1), sofrem o maior impacto relativo em termos de consumo, aproximadamente 24 vezes maior do que a classe de renda mais alta (decil H10). Famílias com maior renda, apesar de apresentarem uma maior parcela do gasto com combustíveis do que os decis mais baixos têm uma maior capacidade de realocação do consumo. Além disso, são menos atingidas pela política, uma vez que a parcela de seu orçamento em serviços é maior (o consumo de serviços, por exemplo, pelo menor decil de renda é de 26,5%, enquanto as famílias com maior decil consomem 56,5% de serviços). Como serviços têm queda relativa de preços, já que não emitem, o efeito sobre o consumo das famílias mais ricas é menor. Acrescenta-se ainda a menor participação dos produtos agropecuários e alimentícios para este nível de renda. Estes produtos acumulam aumentos de preços em decorrência da tributação sobre os setores da Agricultura e Pecuária. Estas variações mencionadas nos preços podem ser verificadas na tabela 8, que retrata o impacto acumulado em 2030 com a política de meta de redução de emissões de 5% para alguns bens selecionados.

TABELA 7 - Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Meta de redução de emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 (var. % acumulada em 2030)				
Famílias	Sem devolução	Devolução via subsídio ao consumo	Devolução via renda	Devolução via renda - decis mais baixos
	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo
H01	-0.89	-0.72	-0.39	2.18
H02	-1.03	-0.86	-0.65	1.45
H03	-0.76	-0.58	-0.47	-0.92
H04	-0.71	-0.53	-0.49	-0.87
H05	-0.67	-0.49	-0.51	-0.82
H06	-0.53	-0.35	-0.41	-0.68
H07	-0.47	-0.29	-0.40	-0.61
H08	-0.36	-0.18	-0.34	-0.50
H09	-0.21	-0.02	-0.22	-0.34
H10	-0.04	0.16	-0.11	-0.16
Indicadores				
Decil H01/Decil H10	24.83	-4.52	3.56	-13.96
Decil H01/Decil H05	1.34	1.47	0.77	-2.65
Decil H05/Decil H10	18.47	-3.08	4.61	5.27
Variação Coeficiente de GINI	-0.7%	-0.7%	-0.9%	-1.2%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

Estendendo a análise para todos os cenários, percebe-se um padrão diferenciado ao especificar as diferentes formas de devolução da receita arrecadada com a tributação. Pode-se notar que a classificação dos decis mais e menos afetados sob a hipótese de devolução via subsídio ao consumo pouco se modifica em relação ao cenário sem devolução. A mudança fica por conta da magnitude. O maior decil de renda (H10), por exemplo, passa a ter variação positiva do consumo, em 0,16% em 2030.

Mudanças significativas ocorrem, por sua vez, nos cenários de devolução via renda. Na devolução homogênea (mesma proporção entre os decis), a devolução de renda minimiza o efeito da tributação principalmente para o decil mais baixo. Quando a política de compensação visa reduzir o impacto sobre os decis mais afetados, devolvendo a receita sob a forma de renda aos decis H1 e H2, a variação no consumo para estes decis passa a ser positiva e significativa em 2030. De acordo com os indicadores apresentados na tabela 7, o impacto sobre as famílias de mais baixa renda (decil H1) passa a ser agora cerca de 14 vezes maior se comparado ao efeito sobre as famílias mais ricas.

A última linha da tabela apresenta a variação do coeficiente de GINI para cada hipótese. O coeficiente de GINI mede o grau de desigualdade na distribuição da renda entre os grupos de renda¹². Os cálculos são baseados nos gastos de cada decil (considerada uma métrica mais consistente) e expressos como alterações percentuais sobre o índice de referência de 2005. Apesar dos resultados da tributação de carbono sugerirem um impacto negativo maior sobre as famílias mais pobres, a variação do coeficiente de GINI, que considera toda a distribuição entre os decis, indica que a introdução de um imposto de carbono melhora o coeficiente em relação ao nível inicial. A alternativa sem devolução da tributação melhora o coeficiente de GINI em 0,7% em 2030. Porém, nas alternativas em que se consideram políticas de compensação, o índice recua com maior intensidade, com destaque para o cenário de devolução via renda para os decis mais baixos (H1 e H2), no qual o coeficiente cai cerca de 1,2% em 2030. De fato, o índice melhora nos cenários em que os dois menores decis perdem menos, devido às políticas de compensação. Analisando a participação no consumo antes e após a política, a opção de compensação às famílias mais pobres eleva a participação dos decis H1 e H2 de 6,1% para 6,3%, e diminui os dois últimos decis de 51,6% para 51,3%. É um efeito marginal, mas relevante. Em termos monetários, por exemplo, seria como transferir 18 bilhões de reais dos dois últimos decis para os dois primeiros.

¹² O índice aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos. Numericamente, varia de zero a um, no qual zero corresponde a completa igualdade de renda, e 1 à completa desigualdade.

TABELA 8 - Efeitos sobre os preços para as famílias do controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 para bens selecionados. (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Bens	Meta de redução de emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 (var. % acumulada em 2030)			
	Sem devolução	Devolução via subsídio ao consumo	Devolução via renda	Devolução via renda - decis mais baixos
Lenha	10.5	10.2	-2.1	10.7
Carvão vegetal	-0.3	-0.7	1.6	-0.2
Bovinos e outros animais vivos	7.8	7.5	1.1	8.3
Abate e preparação de produtos de carne	4.0	3.7	4.2	4.2
Carne suína fresca, congelada ou refrigerada	3.4	3.1	10.3	3.5
Carne ave fresca, congelada ou refrigerada	0.1	-0.3	3.5	0.1
Áçucar	2.8	2.7	1.7	3.2
Óleo de soja refinado	2.4	2.2	1.1	2.5
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	2.3	2.2	1.1	2.5
Arroz beneficiado e produtos derivados	2.6	2.4	5.5	2.9
Carfé torrado e moído	2.7	2.3	2.9	2.8
Artigos do vestuário	-0.8	-1.1	2.9	-0.7
GLP	6.6	6.6	-0.4	6.7
Gasolina	1.0	1.3	1.1	1.1
Óleo diesel	4.6	4.5	-0.3	4.7
Querosene	1.0	1.3	-1.5	1.1
Outros refino de petróleo	2.0	1.9	-0.7	2.1
Álcool	1.0	1.3	-0.4	1.1
Energia elétrica	-2.0	-2.1	0.5	-1.9
Gás natural	6.1	6.1	1.1	6.3
Transporte de passageiro	1.2	3.4	1.4	2.4
Serviços imobiliários e aluguel	-0.7	-0.7	1.1	-0.4
Serviços prestados às famílias	-2.2	-2.5	3.4	-2.1
Educação mercantil	-1.7	-2.0	1.1	-1.6

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen.

4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar alternativas de políticas de mitigação, ou de baixo carbono, para o caso brasileiro, que nos últimos tempos têm sido amplamente discutidas e adotadas em diversos países. A problemática tratada neste trabalho é uma decorrência de uma das mais complexas e difusas externalidades ambientais: as emissões de GEE. A elucidação dos principais elementos envolvendo as causas e as consequências da acumulação desses gases, atrelado a apreciação das principais discussões internacionais acerca da mudança do clima, externam a relevância de se considerar esta questão nas decisões da sociedade brasileira.

No caso brasileiro, os resultados da imposição de metas de redução de emissões do uso de combustíveis e das atividades produtivas apontam que metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”. A estratégia de uma meta ambiciosa em um curto período de tempo imporá um custo elevado para a economia brasileira. Tais custos, entretanto, poderiam ser atenuados a partir de políticas de redistribuição da receita arrecadada e também promotoras do avanço tecnológico (em termos de processos produtivos que emitem menos GEE). Os cenários de progresso tecnológico endógeno induzidos pela taxaço de carbono destacam a relevância desta possibilidade para os objetivos da política. Esse resultado mostra que a adoção de políticas tecnológicas que possam dar suporte às práticas de inovação nos setores potencializaria a efetividade da política. Assim, linhas de crédito aliado a políticas industriais, que viabilizem a inovação tecnológica e científica com o objetivo de redução no uso de combustíveis ou maior eficiência energética, são algumas das opções que poderiam tornar esse cenário mais provável.

O impacto distributivo sobre as famílias das políticas de baixo carbono é um resultado novo no âmbito da literatura brasileira. Em termos dos efeitos sobre as classes de renda, o imposto sobre o carbono é moderadamente progressivo quando se considera principalmente as políticas de compensação de renda para as famílias mais pobres, que também seriam as mais afetadas sob o cenário de tributação de carbono. Esse

resultado se alinha ao esperado e sugerido pela literatura. Políticas de compensação, portanto, poderiam cumprir este objetivo mais equitativo, tornando a política mais progressiva.

Uma análise para além dos resultados sugere que a política de mitigação de GEE no caso brasileiro deve necessariamente incluir o controle do desmatamento como uma das principais frentes para os objetivos de custo-efetividade de uma política climática, conforme já delineado na Política Nacional da Mudança do Clima.

Algumas considerações acerca de limitações podem ser elencadas. Uma delas refere-se à hipóteses da metodologia, que é baseada em um modelo com retornos constantes de escala e sem mecanismos de mudança tecnológica sobre o uso de combustíveis, que potencialmente reduziriam a intensidade de emissões do uso de combustíveis fósseis em simulações de políticas de mitigação. Pode-se conjecturar hipoteticamente que os resultados sejam o “limite superior” dos custos que seriam impostos à economia brasileira com políticas de mitigação de GEE, dadas essas hipóteses restritivas da modelagem. Além disso, não são considerados os benefícios que a mitigação de gases de efeito estufa poderiam implicar, devido à dificuldade e incerteza envolvidas na mensuração dos possíveis impactos que seriam causados pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABARE. *The Megabare Model: Interim Documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. Canberra, 1996, 71 p.
- ADAMS, P. D.; HORRIDGE, M.; PARMENTER, B. R. *MMRF-GREEN: A Dynamic, Multi-sectoral, Multi-regional Model of Australia*. Australia: Monash University, Centre of Policy Studies, Impact Project, 2000.
- ALDY, J. E.; KRUPNICK, A. J.; NEWELL, R. G.; PARRY, I. W. H.; PIZER, W. A. *Climate economics and policy*. RFF Discussion Paper. Washington, DC: Resources for the Future, 2008.
- ALDY, J. E.; STAVINS, R. N. *Post-Kyoto International Climate Policy: Summary for Policymakers*. New York: Cambridge University Press, 2009.
- BARANZINI, A.; GOLDEMBERG, J.; SPECK, S. A future for carbon taxes. *Ecological Economics* v. 32, p. 395–412, 2000.
- BARKER, T.; KOHLER, J. *International Competitiveness and Environmental Policies*. Edward Elgar, Cheltenham, 1998.
- BAUMOL, W. J., OATES, W. E. *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, 2nd edition, 1988.
- BEHR, T., WITTE, J.M., HOXTELL, W., MANZER, J. *Towards a Global Carbon Market Potential and Limits of Carbon Market Integration*, GPPI Policy Paper 5, Berlin: Global Public Policy Institute, 2009.
- BOSETTI, V., BUCHNER, B. Data Envelopment Analysis of different climate policy scenarios. *Ecological Economics* v.68, p. 1340 –1354, 2009.
- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Segundo Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal INERAGEE*, 2010. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>)
- BUREAU, B. Distributional effects of a carbon tax on car fuels in France. *Energy Economics*, v. 33, p. 121–130, 2011.
- DIXON, P. B.; PARMENTER B. R.; SUTTON, J. M.; VINCENT D. P. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. Amsterdam: North-Holland, 1982.
- EDMONDS, J.; KIM, S. H.; McCRACKEN, C. N.; SANDS, R. D.; WISE, M. A. *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-2000 Period*. Washington, D.C.: Pacific Northwest National Laboratory, operated by Battelle Memorial Institute. 1997.
- FEIJO, F. T.; PORTO Jr., Protocolo de Quioto e o Bem Estar Econômico no Brasil Uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável. *Análise Econômica* (UFRGS), v.51, p. 127-154, 2009.

FENG, K., HUBACEK, K., GUAN, D., CONTESTABILE, M., MINX, J.; BARRETT, J. Distributional effects of climate change taxation: the case of the UK. *Environmental Science and Technology*, v.44, p.3670–3676, 2010.

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

FRANKEL, J. *An elaborated proposal for global climate policy architecture: Specific formulas and emission targets for all countries in all decades*. Discussion Paper 2008-08, Cambridge, MA: Harvard Project on International Climate Agreements, 2008.

GURGEL, A. C. Impactos da economia mundial de baixo carbono sobre o Brasil. *Anais da ANPEC*, 2012.

HANOCH, G. CRESH production functions. *Econometrica*. USA, v. 39, n. 5, p. 695–712, 1971.

HEPBURN, C. Regulating by prices, quantities or both: an update and an overview. *Oxford Review of Economic Policy*, v.22, p.226–247, 2006.

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>)

HINCHY, M.; HANSLOW, K. *The MEGABARE model: interim documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 1996. Disponível em: <<http://www.abareconomics.com>>.

JORGENSEN, D. W., WILCOXEN, P. Reducing US carbon dioxide emissions: an assessment of different instruments. *Journal of Policy Modeling* v.15 n.5&6, p. 491–520, 1993.

KLEPPER, G. The future of the European Emission Trading System and the Clean Development Mechanism in a post-Kyoto world, *Energy Economics*, 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V7G-51XR3M5-1/2/8117ca657fa66e17e77bcd742e04c0b3>> Acesso em Dezembro de 2011.

LIANG, Q.M., FAN, Y., WEI, Y.M. Carbon taxation policy in China: How to protect energy-and trade-intensive sectors? *Journal of Policy Modeling* v. 29, p. 311–333, 2007.

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.

LU, C., TONG, Q., LIU, X.M. The impacts of carbon tax and complementary policies on Chinese economy. *Energy Policy* v.38, p. 7278–7285, 2010.

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.

MCDUGALL, R. *Energy taxes and greenhouse gas emissions in Australia*. Working Paper. Centre of Policy Studies/IMPACT Centre: Monash University, g-104, 1993.

METCALF, G.; WEISBACH, D. Linking Policies When Tastes Differ: Global Climate Policy in a Heterogeneous World. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010.

NORDHAUS, W. D. *A question of balance: weighing the options on global warming policies*. New Haven, Yale University Press, 2008.

OLMSTEAD, S. M.; STAVINS, R. N. *Three key elements of post-2012 international climate policy architecture*. HKS Faculty Research Working Papers Series RWP10-030. 2010.

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 Julho de 2012.

- PETER, W. W. HORRIDGE, M.; MEGUER, G.A. NAVQUI, F.; PARMENTER, B. R. *The theoretical structure of MONASH-MRF*. Cayton: Center of Policy Studies, 1996. 121 p. (Preliminary working paper, OP-85). Disponível em: <http://www.monash.edu.au/polycy>. Acesso em: 12 jul. 2010.
- PIGOU, A.C. *The Economics of Welfare*. Macmillan, London, 1920.
- POTERBA, J.A. Tax policy to combat global warming. On designing a carbon tax. In: Dornbusch, R., Poterba, J. (Eds.), *Global Warming: Economic Policy Responses*. MIT Press, Cambridge, 1991.
- RAUSCH, S., METCALF, G.E.; REILLY, J. M. Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households. *Energy Economics*, S20-S33, 2011.
- RONG, F. Understanding developing country stances on post-2012 climate change negotiations: Comparative analysis of Brazil, China, India, Mexico, and South Africa, *Energy Policy* v. 38, n. 8, p. 4582-4591, 2010.
- ROSE. A. *The Economics of Climate Change Policy: International, National and Regional Mitigation Strategies*. Edward Elgar, Massachusetts, 2009.
- 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.
- SPRINGER, U. The market for tradable GHG permits under the Kyoto Protocol: a survey of model studies, *Energy Economics* v.25, n.5, p. 527-551, 2003.
- TIETENBERG, T.H. Economic Instruments for Environmental Regulation. *Oxford Review of Economic Policy*, v.6, n.1, p. 17-33, 1990.
- 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>. Acesso em Fevereiro de 2010.
- UK Energy White Paper. *Our Energy Future-Creating a Low carbon Economy*. Fev. 2003. Disponível em: <http://www.berr.gov.uk/file_10719.pdf> Acesso em Dezembro de 2011.
- VERDE, S. F.; TOL, R. S. J. The distributional impact of a carbon tax in Ireland. *The Economic and Social Review*, v. 40, p.317–338, 2009.
- WATSON, R. T., (Ed.) *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2001.
- WING I. S. *Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis*. The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical note N 6, 2004.
- XIE, J., SALTZMAN, S. Environmental policy analysis: an environmental computable general-equilibrium approach for developing countries. *Journal of Policy Modeling*, Nov. 1996.
- ZHANG, Z.X. Multilateral trade measures in a post-2012 climate change regime? What can be taken from the Montreal Protocol and the WTO? *Energy Policy* v.37, n.12, p. 5105-5112, 2009.
- ZHOU, P.; ANG, B.W. Decomposition of aggregate CO2 emissions: a production theoretical approach. *Energy Economics* v.30, p.1054–1067, 2008.