

ISSN 2318-2377



TEXTO PARA DISCUSSÃO N° 491

**ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL:
ALTERNATIVAS DE POLÍTICAS E CUSTOS DE REDUÇÃO DE
EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

**Aline Souza Magalhães
Edson Paulo Domingues**

Agosto de 2013

Universidade Federal de Minas Gerais

Clélio Campolina Diniz (Reitor)

Rocksane de Carvalho Norton (Vice-reitora)

Faculdade de Ciências Econômicas

Reynaldo Maia Muniz (Diretor)

Paula Miranda-Ribeiro (Vice-diretora)

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar)

Hugo Eduardo Araújo da Gama Cerqueira (Diretor)

Cássio Maldonado Turra (Vice-diretor)

Simone Wajnman (Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Demografia)

Frederico Gonzaga Jayme Jr. (Coordenador do Programa de Pós-graduação em Economia)

Eduardo Luiz Gonçalves Rios-Neto (Chefe do Departamento de Demografia)

Ana Maria Hermeto Camilo de Oliveira (Chefe do Departamento de Ciências Econômicas)

Editores da série de Textos para Discussão

Dimitri Fazito de Almeida Rezende (Demografia)

Gustavo Britto (Economia)

Secretaria Geral do Cedeplar

Maristela Dória (secretária-geral)

Simone Basques Sette (editoração)

<http://www.cedeplar.ufmg.br>

Textos para Discussão

A série de Textos para Discussão divulga resultados preliminares de estudos desenvolvidos no âmbito do Cedeplar, com o objetivo de compartilhar ideias e obter comentários e críticas da comunidade científica antes de seu envio para publicação final. Os Textos para Discussão do Cedeplar começaram a ser publicados em 1974 e têm se destacado pela diversidade de temas e áreas de pesquisa.

Ficha catalográfica

M188e 2013	Magalhães, Aline Souza. Economia de baixo carbono no Brasil : alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa / Aline de Souza Magalhães, Edson Paulo Domingues. - Belo Horizonte : UFMG/CEDEPLAR, 2013. 34 p. : il. - (Texto para discussão, 491) Inclui Anexos (p. 33-34) ISSN 2318-2377 1.Política ambiental - Brasil. 2.Meio ambiente - Aspectos econômicos - Brasil. I.Domingues, Edson Paulo. II.Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. III.Título. IV.Série. CDD: 363.70981
---------------	---

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG -
JN081/2013

As opiniões contidas nesta publicação são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo necessariamente o ponto de vista do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), da Faculdade de Ciências Econômicas ou da Universidade Federal de Minas Gerais. É permitida a reprodução parcial deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são expressamente proibidas.

Opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect views of the publishers. The reproduction of parts of this paper of or data therein is allowed if properly cited. Commercial and full text reproductions are strictly forbidden.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL**

**ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL: ALTERNATIVAS DE POLÍTICAS E
CUSTOS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ***

Aline Souza Magalhães

Doutora em Economia (Cedeplar-UFMG) e Professora Assistente,
FACE-UFMG.

Edson Paulo Domingues

Professor Associado, Cedeplar e FACE-UFMG. Bolsista de Produtividade em Pesquisa Nível 2 – CNPq,

**CEDEPLAR/FACE/UFMG
BELO HORIZONTE
2013**

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

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
1. ASPECTOS ECONÔMICOS DAS POLÍTICAS CLIMÁTICAS NACIONAIS	8
2. METODOLOGIA	12
3. MODELO BEGREEN: ESPECIFICAÇÃO E CALIBRAGEM	13
3.1. Base de dados de emissões de GEE	17
3.2. Simulações e definição dos choques de políticas de mitigação de GEE	19
4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE POLÍTICAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE NA ECONOMIA BRASILEIRA	20
4.1. Cenário 1 - Metas de redução de emissões	21
4.2. Cenário 2: Metas de redução de emissões com a devolução da receita da tributação para as famílias.....	25
4.3. Cenário 3: Metas de redução de emissões via tributação, devolução para as famílias e abatimento de emissões	27
4.4. Resultados por grupos de famílias	29
4. CONCLUSÕES	31
ANEXOS.....	33

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). 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. 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”.

Palavras-chave: Economia de Baixo Carbono, Taxação de Carbono, Equilíbrio Geral Computável, Efeitos Distributivos

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 dissertation aims to study alternative climate policies in Brazil, widely discussed in the international arena, such as carbon pricing policies (carbon taxation). 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.

Keywords: low-carbon economy, climate change, general equilibrium, Brazil

Classificação JEL: Q52, Q54, C68

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). Esta 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. (IEA, 2007, 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. Apesar da importância destas mudanças no uso do solo como a principal fonte de emissões no país (cerca de 60% do total), não se pode esquecer o papel relevante de emissões no uso de combustíveis fósseis e das emissões decorrentes da atividade produtiva, como por exemplo, a agropecuária.

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-Quioto, 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, em termos de Bem-estar, 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, 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”¹ 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

¹ 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 política públicas para que a eficiência seja alcançada.

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 externalidades² 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 (ANDY 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

² Pigou propôs a internalização das externalidades mediante mecanismos de mercado (taxas pigouvianas) como um meio para equiparar os custos privados aos custos sociais.

concebido para ser um 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 taxa 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.

Existe, teoricamente, vantagens de uma taxa de carbono em relação à regulação das emissões através de políticas de comando e controle (PEARCE, 1991). Os impostos ambientais têm o potencial de minimizar os custos de cumprimento das metas para os setores, e conseqüentemente, para os consumidores que irão arcar com os custos de uma parte do imposto. Este resultado de custo mínimo deriva do fato de que um imposto comum a todos os poluidores leva a taxas variáveis de abatimento de emissões determinadas pelos custos marginais individuais de redução da poluição. Poluidores com alto custo marginal tendem a pagar o imposto, em vez de diminuir as emissões, concentrando medidas de abatimento em emissores com baixo custo de redução de emissões. 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 taxa de carbono teriam sobre os países em desenvolvimento, com destaque para a China (LIANG *et al.*, 2007; BRENNER *et al.*, 2007; JIANG *et al.*, 2009, LU *et al.*, 2010, XIA *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. Com efeito, sem qualquer redistribuição das receitas, impostos de carbono podem impor custos mais elevados aos poluidores e consumidores dos produtos intensivos em carbono (KEOHANE *et al.*, 1997). A razão pela qual taxas de carbono impõe custos à

economia é que, para além dos custos de redução de emissões³, os poluidores tem que pagar o imposto sobre o nível de emissão residual. 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.

Os impactos distributivos de impostos de carbono sobre a economia podem ser medidos através de diferentes dimensões, tais como a distribuição entre as famílias de acordo com os decís de renda; entre famílias rurais e urbanas, ou entre gerações. 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.

³ Custos de Redução ou abatimento de emissões incluem todos os custos relacionados com as atividades de redução de emissões tais como, substituição de combustíveis, mudança de tecnologia, redução da produção.

- 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 restrições às emissões 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).

Em trabalhos 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. Em relação aos resultados setoriais, as simulações do estudo revelam mudanças estruturais importantes na economia em 2050, no qual setores ligados a combustíveis fósseis e transportes são os mais afetados.

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.

3. 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. Uma apresentação detalhada do modelo está em Magalhães (2013).

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.

Outro ponto favorável são os mecanismos mais sofisticados da modelagem, sobretudo, referente à dinâmica de ajustamento do estoque de capital e do emprego, que são obtidos endogenamente, via regras de acumulação. 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; ADAMS *et al*, 2002; LI *et al*, 2000, 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. 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.

As estruturas de produção são definidas por dois níveis. O primeiro nível está associado à composição de cada tecnologia a partir da hipótese de combinação em proporções fixas de insumos intermediários energéticos específicos e fatores primários, como capital e trabalho (Leontief). No segundo nível, por seu turno, 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). A função CRESH é uma forma generalizada da função CES apresentada primeiramente por Hanoch (1971). Nesses setores, assume-se que as firmas resolvem o problema de minimização dos custos através de uma agregação CRESH de tecnologias de produção, escolhendo uma composição de tecnologias possíveis. Essa abordagem assegura que o padrão de uso dos insumos seja consistente com tecnologias conhecidas.

No processo produtivo dos setores modelados por compostos energéticos, as firmas escolhem a composição de insumos energéticos de três compostos, assim denominados: composto renovável, auto geração de energia elétrica e composto não renovável. O composto renovável é definido pela escolha de uma composição de insumos energéticos renováveis, assim como o composto não renovável baseia-se na composição de insumos não renováveis, a partir de uma função CES. Outro diferencial desta especificação é a possibilidade de substituição entre auto geração de energia hidroelétrica e energia térmica, também especificada por uma CES. No nível seguinte, estes três compostos são combinados, a partir de uma função CES, a fim de formar um composto energético. Da mesma forma, na composição do fator primário, há substituição via preço entre capital, trabalho e terra. por funções CES. O mesmo se aplica a escolha de insumos intermediários não energéticos. E, por fim, os setores minimizam custos de produção em que a combinação de insumos intermediários, fator primário (agregado) e composto energético é determinada por coeficientes fixos (Leontief).

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 (15 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).

Conforme já mencionado, 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 taxa 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. O abatimento (redução de emissões por unidade de produto) gera uma economia de gastos equivalente à quantidade de emissões poupada vezes o imposto sobre o carbono. O abatimento, entretanto, é custoso, dado que envolve investimento adicional em nova tecnologia e/ou mudanças incrementais em tecnologias existentes.

Esta especificação permite que os setores, face à tributação de carbono, poupem insumos poluidores para investir em progresso tecnológico. É o que é denominado no modelo como resposta a emissões por tonelada de carbono. Porém, como mencionado, há mecanismos de compensação, que fazem com que a nova tecnologia seja custo-neutra. Se não fosse o caso, o abatimento reduziria o custo de produção sem nenhum custo adicional, o que implicaria que esta tecnologia está disponível a custo zero e permanece não-utilizada pelo setor. Nas simulações são estudados cenários de abatimento.

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

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

3.1. Base de dados de emissões de GEE

A primeira etapa para composição do módulo ambiental reside na construção e calibração do banco de dados com a utilização das informações do Balanço Energético e do Inventário Brasileiro de Emissões. As emissões derivadas de combustíveis foram obtidas do Balanço Energético Nacional 2005⁵, a partir de um aplicativo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Economia & Energia. Estas informações foram adaptadas aos setores do modelo, de forma a correlacionar o uso de combustíveis pelos setores com a emissão de GEE. As emissões foram associadas a 15 combustíveis: Petróleo, Gás natural, Carvão metalúrgico, Carvão Mineral, Lenha, Carvão vegetal, Bagaço de cana, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), Gasolina, Álcool, Óleo Combustível, Óleo Diesel, Querosene, Coque e Outros Produtos do Refino. As emissões associadas ao uso de combustíveis foram alocadas para cada setor de uso de acordo com a utilização do combustível, informação presente na base de dados do modelo BeGreen.

Outra forma importante de emissões são as associadas ao processo produtivo dos setores. Estas se caracterizam por não serem associadas ao uso de combustíveis fósseis, mas à atividade produtiva diretamente. Por exemplo, as emissões de metano dos rebanhos são classificadas como emissões pelo processo produtivo do setor pecuário. O Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2010) foi a base de dados utilizada para calibrar estas informações. Estas informações, por sua vez, foram associadas a setores econômicos do modelo.

Coefficientes 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).

A Tabela 2 resume a base de dados de emissões do modelo BeGreen, indicando um volume de 1.005.883 Gg CO₂-e em 2005. As emissões derivadas do uso de combustíveis representam 40% do volume de emissões ao passo que os outros 60% estão associados à atividade produtiva dos setores (linha “Atividade”).

⁵ “Balanço de Carbono, Energia Equivalente e Final Brasil: 1970/2006” de autoria de Carlos Feu Alvim, Rafael Macêdo e Frida Eidelman. Disponível em http://ecen.com/ftp/bal_eec.zip

TABELA 2
Emissões associadas ao uso de combustíveis e atividade econômica no Brasil (ano base 2005)

Fonte de emissões	Emissão (Gg CO ₂ -e)	Part.
Petróleo e gás natural	11943	1%
Carvão metalúrgico	12382	1%
Carvão mineral	44771	4%
Lenha	30122	3%
Carvão vegetal	27741	3%
Bagaço de cana	22450	2%
GLP	12288	1%
Gasolina	70675	7%
Óleo combustível	21141	2%
Óleo diesel	103812	10%
Querosene	15383	1%
Coque	15993	2%
Outros Refino Petróleo	17448	2%
Álcool	14929	1%
Uso de Combustíveis	421076	40%
Atividade	630757	60%
Total	1051833	100%

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

As emissões decorrentes da atividade econômica estão descritas setorialmente na Tabela 3. Os setores de Pecuária e Pesca, Agricultura e Outros e Eletricidade representam as maiores fontes de emissão nessa categoria. A atividade da pecuária por si só representa mais da metade das emissões derivadas da atividade produtiva no Brasil.

TABELA 3
Emissões associadas à atividade econômica no Brasil (ano base 2005)

Atividade	Emissão (Gg CO ₂ -e)	Part.
Pecuária e Pesca	332515	52.7%
Agricultura e Outros	222697	35.3%
Produtos Químicos	22369	3.5%
Petróleo e Gás	14375	2.3%
Cimento	14349	2.3%
Transmissão e Distribuição de Eletricidade e Outros Urbanização	9825	1.6%
Outros Produtos Minerais Não Metálicos	8449	1.3%
Metais não Ferrosos	2594	0.4%
Outras Indústrias Extrativas	1986	0.3%
Refino de Petróleo	1597	0.3%
Emissões por Atividade Produtiva	630756	100%

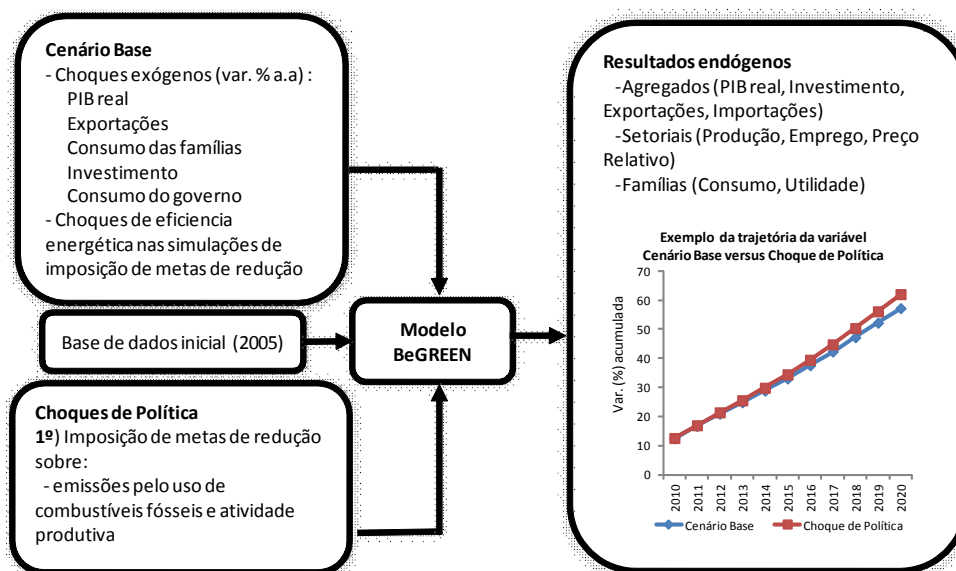
*Referente às emissões totais reportadas na Tabela 1.

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

3.2. 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 Figura 1 ilustra a dinâmica das simulações e de que forma o modelo é alimentado com informações do cenário base e de política.

FIGURA 1
Simulações com o modelo BeGreen



Fonte: Elaboração própria

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, conforme expõe a figura 1, deve refletir, tanto quanto possível, as mudanças projetadas na economia brasileira ao longo do período de estudo (2005 a 2030). Representa, assim, qual seria a trajetória da economia sem políticas de restrição de emissões. A evolução da economia no período 2005-2030 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 macroeconômico utilizado como cenário base parte de um modelo teórico de consistência macroeconômica desenvolvido no CEDEPLAR, proposto por Giambiagi e Pastoriza (1997), e adaptado para este trabalho. 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 política⁶. 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.

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.

Assim, a política de imposição de metas de redução de emissões se reflete sob a forma de uma precificação de carbono, afetando preços relativos e, por conseguinte o uso de insumos energéticos, o nível de atividade e as emissões. 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, 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 parcialmente devolvido sob a forma de subsídio ao consumo das famílias. Nesse caso, por se considerar mais plausível, apenas a parcela da arrecadação proveniente do uso de energia das famílias é devolvido sob a forma de subsídio. O Cenário 3 inclui a hipótese de progresso tecnológico no qual há respostas de abatimento às emissões.

4. 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

⁶ A variável do modelo utilizada para a aplicação dos choques de taxaço denomina-se *delgastax_sq* (imposto para taxaço de emissões por combustíveis e por nível de atividade).

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 2005⁷. Os 60% restantes são decorrentes da mudança do uso da terra (desmatamento, conversão de florestas em pastos ou áreas agrícolas, por exemplo). O modelo BeGreen possibilita análises de custo-efetividade das políticas, ou seja, a mensuração dos custos associados a uma determinada meta de redução em emissões.

4.1. Cenário 1: Metas de redução de emissões

A Tabela 4 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.

TABELA 4
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	-0.91	-2.57	-4.91	-7.83	-11.29
Consumo das Famílias	-1.83	-4.58	-7.92	-11.59	-15.51
Investimento	-1.68	-4.24	-7.59	-11.58	-16.17
Exportações	-0.11	-0.34	-0.76	-2.83	-5.85
Importações	-2.64	-5.61	-8.35	-10.65	-12.55
Emprego	-0.79	-2.07	-3.77	-5.82	-8.22
Salário real	-6.6	-15.9	-26.7	-37.8	-48.5
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-8.6	-19.7	-31.3	-42.3	-52.0
Rentabilidade da terra	-15.5	-34.3	-53.0	-68.5	-80.0
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	46	117	201	290	380
Relações (var. % indicadores/var.% emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.18	0.26	0.33	0.39	0.45
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.37	0.46	0.53	0.58	0.62
Investimento/Redução de Emissões	0.34	0.42	0.51	0.58	0.65
Exportações/Redução de Emissões	0.02	0.03	0.05	0.14	0.23
Importações/Redução de Emissões	0.53	0.56	0.56	0.53	0.50

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

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 -0.91% em 2030 e até -11,29%, se considerarmos uma meta ambiciosa de 25% de

⁷ 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).

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 de 2011 para cerca de 3,96% em média até 2030, considerando a política de restrição de emissões. No caso de uma redução mais expressiva das emissões (25% de redução), o crescimento do PIB passaria de 4,00% para 3,46% 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 fortemente associada ao comportamento do consumo das famílias e do investimento. A demanda por bens tem implicações importantes para estes resultados. O consumo das famílias, como visto, 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 produção⁸, 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. Além disso, os produtores diminuem a produção e o investimento, como resultado do aumento de custos e isso implica menos renda na forma de pagamentos aos fatores primários para as famílias. Com a diminuição da renda, intensifica-se a redução do 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.

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, em 8,6% acumulado até 2030 em relação ao cenário base, no caso da meta de 5% de redução de emissões. 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 econômica⁹. Os efeitos da menor produção e menor demanda por trabalho incidem ainda sobre o salário real e também ajudam explicar a queda do emprego¹⁰, visualizado na tabela 4. Os declínios na rentabilidade dos fatores primários indicam que a incidência do imposto de carbono não é repassado integralmente aos consumidores finais, sendo parcialmente absorvida pelos preços dos fatores.

As exportações também apresentam um impacto negativo, embora em menor magnitude se comparada ao consumo e investimento. Esta queda deve-se ao efeito preço. Como um imposto sobre o carbono eleva os custos de produção, as exportações se tornam mais caras e menos atraentes para os consumidores externos (sob a hipótese de país pequeno, as exportações variam inversamente com os preços domésticos). No caso das importações, à primeira vista, pode-se pensar que com o aumento de alguns preços domésticos, e com uma possível apreciação real da moeda brasileira (taxa de câmbio nominal é fixa no modelo), as importações seriam beneficiadas. Isto até acontece nos primeiros anos

⁸ Este aumento de custos será retratado nos resultados setoriais.

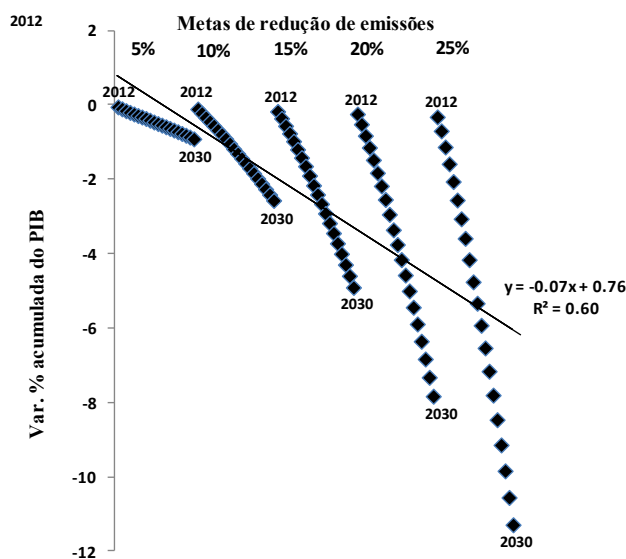
⁹ A rentabilidade da terra cai mais acentuadamente, devido à hipóteses da simulação de que a oferta de terra é fixa.

¹⁰ No modelo, o mercado de trabalho apresenta um elemento de ajuste intertemporal, por meio de uma relação negativa entre emprego e salário real. O aumento de $x\%$ no salário ajusta o nível de emprego em períodos posteriores até convergir para o nível de emprego tendencial.

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.

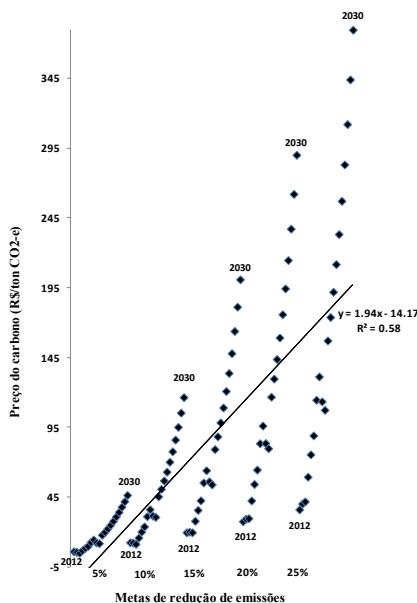
Na tabela 4 encontram-se ainda indicadores que medem a relação entre os custos das políticas para cada um dos agregados macroeconômicos e as metas de redução de emissões. A relação PIB/Redução de emissões, por exemplo, indica que a cada meta mais ambiciosa de redução de emissões, há um custo marginal 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 pelas figuras 2 e 3. A figura 2 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. A figura 3 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. Esta pode ser considerada uma *proxy* para os custos marginais de emissões da economia. Uma meta progressiva de 5% de redução de emissões até 2030, por exemplo, requer preços de carbono entre R\$ 5/ton CO₂-e a R\$ 46/ ton CO₂-e no final do período. Conforme se pode visualizar tais custos tem uma escalada crescente. 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 muito elevado para a economia brasileira.

FIGURA 2
Trajetórias da variação acumulada do PIB em relação ao cenário base para cada uma das metas de redução de emissões



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

FIGURA 3
Trajetórias dos preços de carbono para cada uma das metas de redução de emissões (R\$/ton CO₂-e)



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

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. Este alto 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 setores¹¹.

O segundo motivo para os elevados custos econômicos das metas 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 queda nas emissões é necessariamente acompanhada por certo nível de queda da produção ou atividade. O modelo endogenamente determina os preços de carbono necessários para o alcance das metas, e assim, os cortes de redução de emissões dos setores ou usos de maneira custo-eficiente. 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

¹¹ 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.

resultados encontrados, considerando a especificação metodológica, são robustos para grande parte das variáveis.

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.

4.2. Cenário 2: 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 com a tributação 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. No caso específico desta simulação, optou-se por se considerar que parte da arrecadação seria devolvida sob a forma de subsídio ao consumo, hipótese esta considerada mais plausível, dado que já tem sido praticado pelo governo brasileiro nos últimos anos em razão da conjuntura de crise internacional. Além disso, parte significativa dos preços de combustíveis e pode ser controlada pelo governo federal. Outro ponto a ressaltar é que se 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. Tendo em vista estes aspectos, a tabela 5 apresenta os impactos agregados de metas de redução adicionando-se a este cenário a hipótese de devolução do imposto às famílias.

TABELA 5
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 das emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
PIB real	-0.82	-2.34	-4.52	-7.28	-10.59
Consumo das Famílias	-1.51	-3.80	-6.62	-9.80	-13.26
Investimento	-1.57	-3.95	-7.08	-10.82	-15.13
Exportações	-0.33	-0.98	-2.35	-5.03	-8.59
Importações	-2.20	-4.60	-6.69	-8.32	-9.56
Emprego	-0.70	-1.84	-3.34	-5.17	-7.30
Salário real	-6.0	-14.6	-24.6	-35.0	-45.3
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-7.8	-18.1	-28.9	-39.1	-48.4
Rentabilidade da terra	-15.0	-33.4	-51.9	-67.3	-79.0
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	47	118	206	300	398
Relações (var.% indicadores/var.% emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.16	0.23	0.30	0.36	0.42
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.30	0.38	0.44	0.49	0.53
Investimento/Redução de Emissões	0.31	0.40	0.47	0.54	0.61
Exportações/Redução de Emissões	0.07	0.10	0.16	0.25	0.34
Importações/Redução de Emissões	0.44	0.46	0.45	0.42	0.38

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

A redistribuição do imposto na forma de subsídio sobre o consumo, em relação ao cenário discutido na seção anterior, minimiza a queda da demanda das famílias (-1.51%), principal componente responsável pelo impacto sobre o PIB. Com a devolução, o PIB passa de -0,91% no cenário 1 para -0,82%, diminuindo assim, o efeito sobre o PIB real.

Com a compensação, as famílias tendem a gastar este adicional na renda disponível em bens, reduzindo a queda no consumo verificada anteriormente no cenário 1. Este consumo adicional, por sua vez, é direcionado em uma proporção maior para bens onde a parcela de luxo no gasto é maior¹², cuja produção é, em geral, mais capital-intensiva. Dessa forma, comparado com o cenário 1, em que não há devolução, a demanda por capital tem um decréscimo menor, e assim também sua rentabilidade, o que tem implicações como a queda menos intensa do investimento. O maior incentivo ao consumo também minimiza os efeitos sobre o emprego e salário real.

A relação Queda do PIB/Redução de Emissões, continua crescente com as metas, mas recua ligeiramente em relação ao Cenário 1. Porém, deve-se lembrar que o montante de devolução das receitas com o imposto de carbono refere-se apenas à arrecadação proveniente do consumo das famílias (correspondente a 5% do total da receita arrecadada com o imposto). Se uma política for planejada de modo a aumentar este percentual, os impactos sobre o PIB seriam bem menos intensos para metas de redução de emissões menores. Logo, a compensação via consumo tem impactos potenciais sobre a minimização dos efeitos negativos da imposição de um imposto de carbono sobre as fontes emissoras.

¹² Isto está relacionado com o comportamento do consumo descrito por um sistema linear de gasto (LES) do modelo

A diferença em relação ao cenário 1 é que para o alcance da meta com devolução da arrecadação, é necessário um preço de carbono mais elevado (confirma-se esta diferença pelas tabelas 12 e 13, no qual os preços de carbono em 2030, para os cenários 1 e 2 são R\$380/ton CO₂-e e R\$398/ton CO₂-e, respectivamente, para uma meta de 25%). Isso decorre do fato de que a devolução incentiva o consumo, que em certa proporção, tem bens intensivos em carbono.

4.3. Cenário 3: Metas de redução de emissões via tributação, devolução para as famílias e abatimento de emissões

Nos dois primeiros cenários discutidos não se leva em conta nenhum tipo de mudança tecnológica. Esta hipótese, contudo, pode não ser realista em cenários de longo prazo (FERREIRA FILHO e ROCHA, 2007). 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 com relação à tecnologia utilizada na produção, fazendo com que haja um incentivo à adoção de tecnologias que reduzam as emissões não associadas ao consumo de combustível. Esta mudança é modelada como sendo diretamente proporcional ao imposto de carbono, através de uma constante de proporcionalidade (parâmetro). Não há estimativas para o valor deste parâmetro para a economia brasileira. Todavia, conforme já relatado anteriormente, utilizar-se-á valores conservadores de forma ilustrativa. Assume-se que valores acima de R\$100 de imposto por tonelada de CO₂ equivalente causam uma redução de 10% nas emissões associadas ao nível de atividade dos setores.

Nesta seção descrevem-se os resultados do cenário que leva em consideração tanto a devolução da arrecadação sob a forma de subsídio às famílias, quanto estas mudanças tecnológicas. A tabela 6, 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 0,45% 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%. No caso de uma redução mais expressiva das emissões (25% de redução), o crescimento do PIB passaria de 4,00% para 3,78% ao ano até 2030. O investimento na adoção de tecnologias menos poluentes pelos setores tende a potencializar a redução das emissões, e consequentemente, reduzir o custo marginal de mitigação de emissões.

TABELA 6
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 das emissões em relação ao cenário base (var. % acumulada em 2030)				
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%
PIB real	-0.45	-1.15	-2.07	-3.21	-4.57
Consumo das Famílias	-0.94	-2.18	-3.66	-5.29	-7.08
Investimento	-1.06	-2.47	-4.21	-6.22	-8.51
Exportações	0.22	0.25	0.01	-0.58	-1.53
Importações	-1.59	-3.31	-5.03	-6.63	-8.08
Emprego	-0.33	-0.75	-1.24	-1.80	-2.46
Salário real	-4.1	-9.3	-15.2	-21.6	-28.2
Pagamento aos fatores primários					
Rentabilidade do capital	-5.2	-11.4	-18.1	-24.7	-31.2
Rentabilidade da terra	-10.0	-20.8	-32.0	-42.8	-52.9
Redução total das emissões	-5	-10	-15	-20	-25
Preço do carbono (R\$/ton CO ₂ -e em 2030)	24	55	91	132	177
Relações (var.% indicadores/var.% emissões)					
PIB/Redução de Emissões	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18
Consumo das famílias/Redução de Emissões	0.19	0.22	0.24	0.26	0.28
Investimento/Redução de Emissões	0.21	0.25	0.28	0.31	0.34
Exportações/Redução de Emissões	-0.04	-0.03	0.00	0.03	0.06
Importações/Redução de Emissões	0.32	0.33	0.34	0.33	0.32

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo BeGreen

Este é um ponto fundamental a ser destacado nos resultados. 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 com emissões mais relevantes, pode se configurar como uma alternativa custo-eficiente de uma política de mitigação de GEE na economia brasileira.

Analisando os resultados da tabela 6, verifica-se que, em linhas gerais, o consumo das famílias, investimento e exportações tem um melhor desempenho (menores quedas) se comparado aos cenários 1 e 2, 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 os projetados nos cenários 1 e 2. Isto tem consequências como a menor redução do consumo das famílias, investimento e exportações.

A hipótese de abatimento de emissões para se tornar mais possível na realidade, pode ser acompanhado de incentivos como linhas de crédito, políticas tecnológicas e científicas específicas, que possam facilitar aos setores por em prática as inovações tecnológicas que lhes permitam maximizar a redução das emissões. Pelos resultados obtidos, o custo da redução das emissões praticamente se reduz a metade (em pontos percentuais), evidenciando a importância do processo de mudança tecnológica na redução de emissões de GEE na economia brasileira.

4.4. 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 trabalho é o primeiro a considerar os efeitos distributivos sobre as famílias da imposição de metas de redução de emissões sobre a economia brasileira. 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 às famílias na faixa de maior renda. Uma análise da participação das famílias no consumo, mostra 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 7, 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).

TABELA 7
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 8 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 3 cenários da simulação¹³.

TABELA 8
Impactos sobre a consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Famílias	Controle das emissões em 5% em relação ao cenário base em 2030 (var. % acumulada em 2030)		
	Sem devolução	Devolução do montante da tributação sobre as famílias	Devolução e abatimento de emissões dos setores
	Consumo	Consumo	Consumo
H01	-2.24	-1.92	-1.22
H02	-2.32	-2.01	-1.29
H03	-1.93	-1.62	-1.03
H04	-1.94	-1.62	-1.03
H05	-1.88	-1.55	-0.99
H06	-1.73	-1.41	-0.89
H07	-1.73	-1.41	-0.88
H08	-1.76	-1.43	-0.90
H09	-1.71	-1.38	-0.85
H10	-1.85	-1.51	-0.93
Indicadores			
Decil H01/Decil H10	1.22	1.27	1.32
Decil H01/Decil H05	1.20	1.24	1.24
Decil H05/Decil H10	1.02	1.03	1.06
Variação Coeficiente de GINI	0.5%	0.5%	0.5%

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

Em linhas gerais, os resultados indicam que a política de taxação 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. As 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.

¹³ Os resultados para as demais metas são análogos, diferindo apenas a magnitude dos impactos. Para não ficar exaustivo, estes resultados serão apresentados no Anexo 2.

Ainda sobre o impacto no consumo, percebe-se um padrão diferenciado nos resultados ao se especificar cada decil de renda. Como exemplo, pode-se citar o fato de que o decil H02 ser o mais afetado pela política, e H09 ter o menor recuo. Um resultado interessante é em relação ao decil H10, que mesmo tendo um maior grau de realocação do consumo, apresenta impactos comparáveis aos decis de renda média (H05), em razão da alta participação relativa de bens energéticos em seu consumo, cuja elevação de preço é significativa.

A última linha da tabela 8 sumariza o resultado final de incidência sobre as famílias da introdução de metas de redução de emissões via tributação de carbono sobre a economia. O coeficiente de GINI mede o grau de desigualdade na distribuição da renda entre os grupos de renda¹⁴, devido ao imposto de carbono. 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. Nota-se um aumento de 0,5% no índice em 2030, indicando que a política de restrição de emissões via imposto de carbono é regressiva. Além disso, a compensação via subsídio ao consumo não modifica este resultado. Outras opções de políticas de compensação, no entanto, poderiam cumprir este papel, tornando a política mais progressiva. Dentre as opções, amplamente discutidas na literatura, estão a redistribuição lump-sum e a compensação de renda em maior proporção para as famílias mais afetadas pela política.

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.

Também motivada pela Política Nacional da Mudança do Clima (PNMC, 2009) adotadas no Brasil, foram analisados os potenciais impactos de metas de redução de emissões. Para cumprir a estes propósitos, desenvolveu-se um modelo de equilíbrio geral computável, denominado BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*). O modelo é inovador em alguns aspectos, como na sua ampla desagregação de produtos energéticos, setores e fontes de emissão de GEE, na incorporação de mecanismos de dinâmica recursiva, e notadamente, na especificação ambiental e energética.

A imposição de metas de redução de emissões do uso de combustíveis e das atividades produtivas, que 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

¹⁴ 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.

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 muito 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 resultados mostraram que mesmo uma devolução de apenas 5% do total arrecadado tem impactos não desprezíveis sobre o custo da política (no caso da meta de 5%, por exemplo, a queda do PIB se reduziria de -0,91% para -0,82%). 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, apresentado neste artigo. Em termos dos efeitos sobre as classes de renda, o imposto sobre o carbono é moderadamente regressivo tanto quando medido em termos das variações do consumo, quanto nas mudanças do coeficiente de Gini, com base em padrões de consumo das famílias. Esse resultado se alinha aos encontrados para vários países. Políticas de compensação, no entanto, poderiam cumprir um objetivo mais equitativo, tornando a política mais progressiva ou menos regressiva. Dentre as opções estão a redistribuição *lump-sum* e a compensação de renda em maior proporção para as famílias mais afetadas pela política.

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 endógenos de mudança tecnológica, que potencialmente reduziriam a intensidade de emissões do uso de combustíveis fósseis em simulações de políticas de mitigação. Essas limitações também são responsáveis pelos custos de mitigação relativamente mais altos que os encontrados em outros estudos. 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.

ANEXOS

QUADRO 1
Classificação dos setores do modelo BeGreen

Código	Setores	Código	Setores
S1	Agricultura, silvicultura, exploração florestal	S30	Eletrrodomésticos
S2	Pecuária e pesca	S31	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
S3	Petróleo e gás natural	S32	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
S4	Minério de ferro	S33	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
S5	Outros da indústria extrativa	S34	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
S6	Alimentos e Bebidas	S35	Automóveis, camionetas e utilitários
S7	Produtos do fumo	S36	Caminhões e ônibus
S8	Têxteis	S37	Peças e acessórios para veículos automotores
S9	Artigos do vestuário e acessórios	S38	Outros equipamentos de transporte
S10	Artefatos de couro e calçados	S39	Móveis e produtos das indústrias diversas
S11	Produtos de madeira - exclusive móveis	S40	Geração de eletricidade
S12	Celulose e produtos de papel	S41	Transmissão e distribuição de eletricidade
S13	Jornais, revistas, discos	S42	Distribuição de gás natural
S14	Refino de petróleo e coque	S43	Água, esgoto e limpeza urbana
S15	Alcool	S44	Construção
S16	Produtos químicos	S45	Comércio
S17	Fabricação de resina e elastômeros	S46	Transporte, armazenagem e correio
S18	Produtos farmacêuticos	S47	Serviços de informação
S19	Defensivos agrícolas	S48	Intermediação financeira e seguros
S20	Perfumaria, higiene e limpeza	S49	Serviços imobiliários e aluguel
S21	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	S50	Serviços de manutenção e reparação
S22	Produtos e preparados químicos diversos	S51	Serviços de alojamento e alimentação
S23	Artigos de borracha e plástico	S52	Serviços prestados às empresas
S24	Cimento	S53	Educação mercantil
S25	Outros produtos de minerais não-metálicos	S54	Saúde mercantil
S26	Fabricação de aço e derivados	S55	Outros serviços
S27	Metalurgia de metais não-ferrosos	S56	Educação pública
S28	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	S57	Saúde pública
S29	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	S58	Administração pública e seguridade social

Fonte: Elaboração própria

QUADRO 2
Classificação dos produtos do modelo BeGreen

Código	Produtos	Código	Produtos
C1	Arroz em casca	C63	Querosene
C2	Milho em grão	C64	Coque
C3	Trigo em grão e outros cereais	C65	Outros produtos do refino de petróleo e coque
C4	Cana-de-açúcar	C66	Álcool
C5	Soja em grão	C67	Urânio
C6	Outros produtos e serviços da lavoura	C68	Outros produtos químicos inorgânicos
C7	Mandioca	C69	Produtos químicos orgânicos
C8	Fumo em folha	C70	Fabricação de resina e elastômeros
C9	Algodão herbáceo	C71	Produtos farmacêuticos
C10	Frutas cítricas	C72	Defensivos agrícolas
C11	Cafê em grão	C73	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza
C12	Lenha	C74	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
C13	Carvão vegetal	C75	Produtos e preparados químicos diversos
C14	Outros produtos da exploração florestal e da silvicultura	C76	Artigos de borracha
C15	Bovinos e outros animais vivos	C77	Artigos de plástico
C16	Leite de vaca e de outros animais	C78	Cimento
C17	Suínos vivos	C79	Outros produtos de minerais não-metálicos
C18	Aves vivas	C80	Gusa e ferro-ligas
C19	Ovos de galinha e de outras aves	C81	Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço
C20	Pesca e aquicultura	C82	Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos
C21	Petróleo	C83	Fundidos de aço
C22	Gás natural	C84	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamento
C23	Minério de ferro	C85	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
C24	Carvão metalúrgico	C86	Eletrodomésticos
C25	Carvão mineral	C87	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
C26	Minerais metálicos não-ferrosos	C88	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
C27	Minerais não-metálicos	C89	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
C28	Abate e preparação de produtos de carne	C90	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
C29	Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada	C91	Automóveis, camionetas e utilitários
C30	Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada	C92	Caminhões e ônibus
C31	Pescado industrializado	C93	Peças e acessórios para veículos automotores
C32	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais	C94	Outros equipamentos de transporte
C33	Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja	C95	Móveis e produtos das indústrias diversas
C34	Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho	C96	Sucatas recicladas
C35	Óleo de soja refinado	C97	Energia hidrelétrica pública
C36	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	C98	Energia hidrelétrica auto geração
C37	Produtos do laticínio e sorvetes	C99	Energia térmica pública
C38	Arroz beneficiado e produtos derivados	C100	Energia térmica auto geração
C39	Farinha de trigo e derivados	C101	Energia eólica pública
C40	Farinha de mandioca e outros	C102	Distribuição de energia elétrica
C41	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações	C103	Distribuição de gás natural
C42	Bagaço de cana	C104	Outros serviços urbanos
C43	Outros produtos das usinas e do refino de açúcar	C105	Construção
C44	Cafê torrado e moído	C106	Comércio
C45	Cafê solúvel	C107	Transporte de carga
C46	Outros produtos alimentares	C108	Transporte de passageiro
C47	Bebidas	C109	Correio
C48	Produtos do fumo	C110	Serviços de informação
C49	Beneficiamento de algodão e de outros têxteis e fiação	C111	Intermediação financeira e seguros
C50	Tecelagem	C112	Serviços imobiliários e aluguel
C51	Fabricação outros produtos têxteis	C113	Aluguel imputado
C52	Artigos do vestuário e acessórios	C114	Serviços de manutenção e reparação
C53	Preparação do couro e fabricação de artefatos	C115	Serviços de alojamento e alimentação
C54	Fabricação de calçados	C116	Serviços prestados às empresas
C55	Produtos de madeira - exclusive móveis	C117	Educação mercantil
C56	Celulose e outras pastas para fabricação de papel	C118	Saúde mercantil
C57	Papel e papelão, embalagens e artefatos	C119	Serviços prestados às famílias
C58	Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados	C120	Serviços associativos
C59	Gás liquefeito de petróleo	C121	Serviços domésticos
C60	Gasolina	C122	Educação pública
C61	Óleo combustível	C123	Saúde pública
C62	Óleo diesel	C124	Serviço público e seguridade social

Fonte: Elaboração própria