

Aumento da eficiência energética no Brasil: uma opção para uma *economia de baixo carbono*?¹

Aline Souza Magalhães (CEDEPLAR-UFMG)
Edson Paulo Domingues (CEDEPLAR-UFMG)

RESUMO

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio-ambiente e que tem tomado novas dimensões, seja na magnitude, na escala geográfica ou na variedade de atores políticos envolvidos, são as mudanças climáticas originadas pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Os países em desenvolvimento aumentaram a sua importância como emissores de GEE e têm sido chamados a se posicionarem em relação à mitigação da mudança climática. O Brasil tem se posicionado de mais maneira mais ativa neste sentido, ao confirmar metas voluntárias de redução de emissões e propor o Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) e elaborar Planos Setoriais de Mitigação de GEE. Um destes planos refere-se ao aumento da eficiência energética. Este é o primeiro trabalho a considerar os impactos da melhoria no uso de energia sobre a economia brasileira. Os resultados apontados pela política são relevantes. Com a elevação da eficiência energética a economia passa a crescer mais, reduzindo suas emissões de GEE, mesmo considerando alguns de seus custos.

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

CLASSIFICAÇÃO JEL: Q42, Q52, Q54, C68

ABSTRACT

One of the most discussed effects of economic activity on the environment and has taken new dimensions either in magnitude, geographic scale or range of political actors involved are climate changes caused by the accumulation of greenhouse gases (GHG). Developing countries increased their importance as GHG emitters and have been called to position themselves in relation to climate change mitigation. Brazil has positioned most actively in this direction, to confirm voluntary emissions reduction targets and propose the National Plan on Climate Change (NPCC) and prepare Sectoral GHG Mitigation Plans. One of these plans refers to increasing energy efficiency. This work is the first to consider the effects of improvement in energy use on the Brazilian economy, including distributional impacts on households. The results presented are relevant for policy. With the increase of energy efficiency economy starts to grow, reducing its GHG emissions, even considering some of their costs.

KEYWORDS: Low Carbon Economy, Energy Efficiency, Distributive Impacts, Computable General Equilibrium

ÁREA - Economia do Meio Ambiente

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

* Professora Adjunta, FACE-UFMG. Pesquisadora da RedeCLIMA. e-mail: alines@cedeplar.ufmg.br

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

1. Introdução

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

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

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

Um primeiro passo já foi dado neste sentido nas conferências em Copenhague (2009) e em Cancun (2010), nos quais o Brasil confirmou as suas metas nacionais voluntárias de redução de emissões de gases de efeito estufa, com reduções entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Estas metas foram definidas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), aprovada pelo Congresso Nacional

(Lei no 12.187) em 2009. No caso brasileiro, as autoridades têm apontado para o controle do desflorestamento, especialmente na Amazônia, como a principal proposta do país para reduções de emissões de GEE. Deve-se ressaltar, no entanto, que conforme apontam as estimativas mais recentes de queda na taxa de desmatamento e, por conseguinte das emissões associadas à mudança no uso da terra (INPE, 2012), é provável que nos próximos anos, a participação desta fonte de emissões se reduza consideravelmente, deixando de ser considerada a principal fonte de emissões de GEE no Brasil.

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

Há um grande debate em curso sobre a forma como as políticas de mitigação serão implementadas: por mecanismos econômicos, como impostos, subsídios e mercado de carbono, ou regulamentações (regulamentações governamentais, padrões de desempenho e programas voluntários, por exemplo). Um cenário alternativo pós-Quito, com a não-ratificação de um acordo global, seria a criação e fortalecimento de políticas nacionais de redução de GEE, que poderiam tomar a forma de políticas de tributação, mercados regionais de créditos de carbono ou políticas de fortalecimento e incentivo a eficiência energética. Esta última política, em particular, é um tema ainda pouco discutido na economia brasileira. Programas de sucesso em termos de eficiência energética e que tem auxiliado o cumprimento de metas de redução de emissões podem ser encontrados na Suécia e Inglaterra. No Brasil, a PNMC contempla o objetivo de aumentar a eficiência energética, contribuindo para uma redução de 12 a 15 milhões tCO₂-e em 2020.

Este estudo preenche uma lacuna na literatura brasileira, ao ser o primeiro a examinar as implicações de custo-efetividade de políticas de eficiência energética no Brasil, inclusive mensurando o impacto distributivo sobre as famílias. Tal alternativa pode configurar-se de menor custo para o país contribuir para a mitigação do aquecimento global.

Em termos metodológicos, utiliza-se 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, à sua especificação energética e ambiental diferenciada e a abertura de famílias representativas. Este artigo está organizado em 4 seções, além desta introdução: o segundo capítulo discute os aspectos inerentes as políticas de melhoria de eficiência energética. O terceiro detalha a metodologia desenvolvida para projetar os efeitos do aumento da conservação de energia sobre a economia brasileira. As simulações e os principais resultados das políticas simuladas são reportados nas seções 4 e 5. E por fim, tecem-se as conclusões finais.

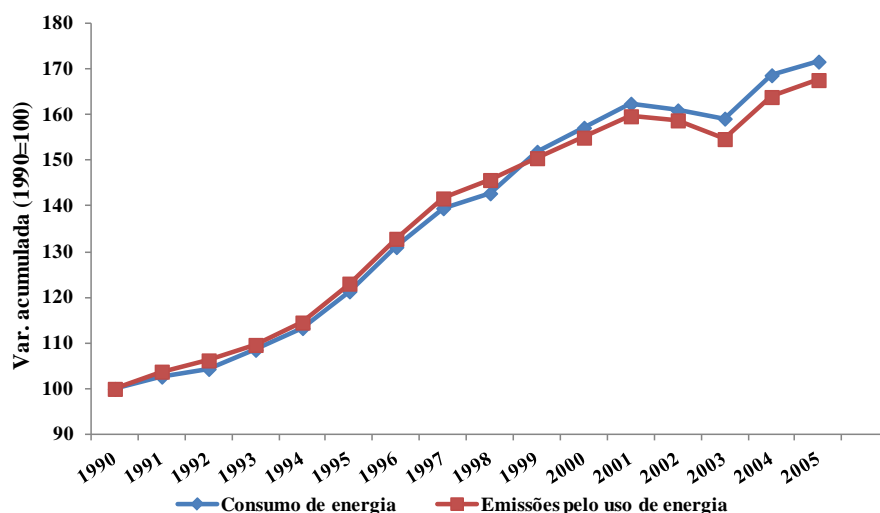
2. Políticas de melhoria da eficiência energética

Desde os choques do petróleo na década de 1970, a preocupação com o uso mais eficiente de energia ganhou maiores proporções quando ficou claro que as reservas fósseis não seriam baratas para sempre, nem o seu uso ocorreria sem prejuízos para o meio ambiente (EPE, 2007). A partir daí, percebeu-se que o mesmo “serviço de energia” - como, por exemplo, iluminação e os usos que a energia proporciona, como aquecimento, condicionamento, equipamentos eletroeletrônicos - poderia ser proporcionado com menos gasto de energia. Equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser pautados também sob o prisma da eficiência energética, verificando-se que muitos deles eram “economicamente viáveis”, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia evitada. Estas medidas – uso de equipamentos e hábitos que provocam menor uso da energia para auferir o mesmo serviço prestado – receberam o nome de “medidas de eficiência energética” (EPE, 2007). Em outras palavras, melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia necessário para produzir um determinado serviço de energia (PATTERSON, 1996).

Melhorar a eficiência energética, nos dias atuais, não tem sido apontado apenas como uma ação fundamental para a redução da dependência energética, aumento da segurança no fornecimento de energia e de sustentabilidade (STERN, 2007). A eficiência e conservação de energia tem assumido uma importância renovada com o fortalecimento das evidências das mudanças climáticas. Estas preocupações colocaram a eficiência energética como um dos mecanismos chaves para cumprir os objetivos de redução de emissões de GEE. Em tempos de crise econômica, opções de conservação de energia e eficiência constituem uma das principais alternativas do setor energético para lidar com esses desafios. No caso brasileiro, a necessidade de desenvolvimento de uma “economia de baixo carbono” atrelado ao papel relevante que a energia elétrica desempenha e as dificuldades econômicas e ambientais para a expansão do sistema elétrico menos intensivo em carbono, como as hidroelétricas, colocam o uso mais eficiente de energia como uma provável alternativa, seja pelo seu custo mais baixo de implantação, seja pela ausência de impacto ambiental (EPE, 2007). A chave para a existência de todos estes benefícios reside no fato de que as pessoas não consomem energia, mas sim serviços energéticos. Então é possível fornecer o mesmo nível de serviços energéticos com um menor uso ou consumo de energia (LINARES e LABANDEIRA, 2010).

Conforme aponta Linares e Labandeira (2010), embora a conservação de energia não seja a política central para a resolução dos problemas ambientais, ela pode contribuir significativamente para a efetividade de políticas de mitigação das emissões. A figura 1, neste contexto, ilustra a correlação entre o consumo de energia e as emissões pelo seu uso, no Brasil.

FIGURA 1 - Consumo de energia e Emissões de CO2 pelo seu uso. Brasil 1990-2005 (Base:1990)



Fonte: Climate Analysis Indicators (World Resources Institute, Washington, DC) e Eletrobras.

Há um consenso de que eficiência energética é a maneira mais rápida, barata e sustentável de fornecimento de energia para o desenvolvimento sustentável e de mais baixo carbono (UNCTAD, 2009). O IPCC (IPCC, 2007), por exemplo, estima que 7 a 14% das emissões globais de GEE poderiam ser mitigadas a custos negativos com medidas de conservação e eficiência energética.

As melhorias de eficiência energética podem ser resultado do progresso tecnológico em curso, como resposta a preços crescentes de energia (ou de carbono), que induzem os agentes à inovação. Além disso, os governos podem implementar um ampla gama de políticas tecnológicas e programas, como o financiamento a P&D, que visem o desenvolvimento de produtos mais eficientes energeticamente (células de combustível, carros híbridos, dentre outras), incentivos financeiros para acelerar o desenvolvimento e adoção de medidas de eficiência energética, assim como a instituição de padrões em setores e residências (AZAR, 2010, GELLER, 2005).

Os defensores do uso de padrões e regulamentações argumentam que normas ajudam a resolver uma série de falhas de mercado. A aplicação de padrões de eficiência energética, se implementados com cuidado, podem reforçar as políticas via mecanismos de mercado custo-eficientes. Os proponentes de políticas e programas de eficiência energética se baseiam no fato de que uma maior eficiência energética

poupa recursos de consumidores e empresas e garante a autossuficiência, reduzindo os impactos ambientais adversos associados com a produção, conversão e utilização de energia. Vale enfatizar ainda que o uso eficiente de energia reduz os custos de produtos e serviços, elevando a produtividade e competitividade em diversos setores econômicos. Em particular, pode proporcionar benefícios sociais, tais como aumento do emprego, redução dos custos de energia enfrentados pelas famílias de baixa renda, reforço à segurança nacional e conservação de recursos finitos, como petróleo e gás natural (GELLER, 2005).

Em contrapartida, podem-se encontrar algumas ressalvas na literatura, em relação às políticas e programas de incentivo à eficiência energética. A principal delas é denominada “rebound effect” (KHAZZOOM, 1980, BROOKES, 1990 e GREENING et al , 2000 para uma resenha). Refere-se ao aumento da procura por serviços de energia (refrigeração, iluminação, etc), quando o custo do serviço diminui como resultado de melhorias técnicas em eficiência energética. Devido ao menor custo, os consumidores e as empresas mudam seu comportamento adquirindo mais eletrodomésticos ou operando-os com maior frequência, por exemplo. Esta mudança de comportamento acaba por corroer a economia de energia alcançada devido a maior eficiência, e conseqüentemente, minimizar os resultados sobre a redução das emissões de GEE.

Três causas são apontadas para explicar este efeito. A primeira refere-se ao efeito preço. A melhoria da eficiência energética traz consigo uma redução implícita nos custos, ou nos preços efetivos. Se a elasticidade preço da demanda for elevada, a queda do preço vai resultar em aumento do consumo. A segunda razão diz respeito ao efeito renda. Se os preços dos bens energéticos diminuem, o conseqüente aumento na renda disponível permite que os consumidores adquiram outros produtos, que podem estar relacionados a um maior consumo de energia. A última causa, por fim, relaciona-se a efeitos macroeconômicos. Neste sentido, quando há mudanças nos preços efetivos de energia, os preços relativos dos insumos produtivos também mudam, alterando o uso dos mesmos, favorecendo, por exemplo, os setores mais intensivos em energia. Adiciona-se ainda o fato de que um aumento na eficiência estimula o crescimento econômico, que tem repercussões sobre a demanda de energia (LINARES e LABANDEIRA, 2010).

O segundo paradoxo concernente a políticas de eficiência é conhecido na literatura como “gap da eficiência energética” e baseia-se no fato de que medidas efetivas não tem sido amplamente implementadas, apesar dos aparentes benefícios socioeconômicos e ambientais inerentes. Não obstante, as razões de baixos investimentos em eficiência e conservação não são claras, o que, por sua vez, implica que não estão claras quais seriam as políticas mais adequadas para promovê-la. (LINARES e LABANDERA, 2010).

As metas propostas pelo Brasil, de redução de emissões brasileiras, instituída pelo PNMC, incluem várias das ações implementadas por programas de incentivo a eficiência energética, alguns já consolidados há mais de 20 anos. O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), desenvolvido pelo INMETRO em articulação com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET) tem tido uma destacada atuação, que se somando aos instrumentos da Lei Eficiência Energética, Lei nº 10.295/2001, compõe uma base normativa relevante em prol da redução das perdas energéticas. Adiciona-se ainda a linha de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), PROESCO, específica para apoio a projetos de eficiência energética (PDE 2030, 2010).

Desenvolvido em 1985, O PROCEL visa promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para se evitar desperdícios, reduzindo custos e investimentos setoriais. Sua atuação inicial caracterizou-se pelo repasse de informações destinados a conservação de energia elétrica em vários setores, passando depois, a estimular o desenvolvimento tecnológico e a adequação das legislações e normas técnicas. Desde 1986, foram investidos R\$ 1,26 bilhão em ações de eficiência energética do Procel. De acordo com os dados oficiais, no período 1986 a 2011, o PROCEL possibilitou uma economia de energia elétrica de cerca de 51,2 bilhões de kWh, o que equivale ao atendimento de 27 milhões de residências durante um ano. Em 2011, o Procel atingiu um resultado de economia de energia de aproximadamente 6,7 bilhões de kWh, correspondente a emissões evitadas de 196 mil tCO₂-e, o que corresponde também às emissões proporcionadas por 67 mil veículos em um ano (PROCEL, 2012).

Outro programa relevante nesta questão é o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET), criado em 1991, que tem como finalidade desenvolver e integrar as ações que visam à racionalização do uso de derivados e petróleo e gás natural. A área de atuação do CONPET abrange as instituições de ensino e setores de transporte, industrial (melhoria ambiental e competitividade produtiva), residencial e comercial (uso de selos de eficiência para produtos), agropecuário (uso de óleo diesel) e geração de energia (termoelétricas) (PNEf, 2011).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), regulamentado em 1984, é coordenado e regulamentado pelo INMETRO e executado em parceria com o CONPET para os equipamentos que consomem combustíveis (fogões, fornos, aquecedores de água a gás e automóveis). Por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), afixada nos produtos de forma voluntária ou compulsória, o consumidor é informado, no momento da compra, sobre a eficiência energética ou consumo de modelos semelhantes (PNEf, 2011). Em 20 anos, o PBE produziu resultados expressivos, como é o caso de refrigeradores, cuja eficiência média evoluiu em 48% no período. (EPE, 2006). Estes programas estão incluídos no âmbito do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), aprovado em 2011.

Conforme o próprio Plano, o Brasil dispõe de um grande potencial de conservação de energia, notadamente nos setores industrial, de transporte e residencial². Não obstante, este potencial não tem sido perseguido ou se concretizado na prática, levantando a questão debatida na literatura do “gap da eficiência energética”. Cabe avaliar, então, quais seriam os obstáculos impostos a maior efetivação dos investimentos direcionados a conservação de energia. O papel do governo no encaminhamento de uma Política Nacional de Eficiência Energética, que incentive um conjunto de medidas, mecanismos regulatórios e financiamentos, já está delineado no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), aprovado em 2011.

Todavia, os investimentos do setor privado em tecnologias de “baixo carbono” requerem incentivos que tornem atraentes estas opções. Se uma tecnologia de baixo carbono possui custo maior que a usual, ou demanda maiores investimentos, dificilmente os setores produtivos seriam inclinados a optar por ela, mesmo que imbuídos de princípios de “sustentabilidade” ou “responsabilidade social”.

3. Metodologia

3.1 Modelo BeGreen

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).

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

Os dois primeiros elementos são fundamentais para os objetivos deste trabalho, na medida em que permitem analisar, consistentemente, políticas de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) para a economia brasileira a partir da incorporação de um módulo detalhado de especificação energética e ambiental. Além disso, o modelo é calibrado para os dados mais recentes das contas nacionais, da matriz de insumo-produto e do inventário brasileiro de emissões (2005). A estrutura de dinâmica recursiva

² O setor industrial é o maior consumidor energético, respondendo por 35,8% do consumo final em 2012 seguido pelos setores de transporte com 30,0% e residencial com 9,8% (BEN, 2012)

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.

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. Soma-se ainda 14 componentes da demanda final (consumo das famílias – 10 famílias representativas, consumo do governo, investimento, exportações e estoques), três elementos de fatores primários (capital, trabalho e terra), dois setores de margens (comércio e transportes), importações por produto para cada um dos 58 setores e 14 componentes da demanda final, um agregado de impostos indiretos e um agregado de impostos sobre a produção.

Em linhas gerais, a estrutura central do modelo EGC é composta por blocos de equações que determinam relações de oferta e demanda, derivadas de hipóteses de otimização, e condições de equilíbrio de mercado. Além disso, vários agregados nacionais são definidos nesse bloco, como nível de emprego, saldo comercial e índices de preços. Os setores produtivos minimizam custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala. Um dos diferenciais do modelo refere-se à especificação de vetores tecnológicos em setores intensivos em energia e compostos energéticos para os demais setores.

No modelo BeGreen um esforço foi feito para se mover em direção ao maior realismo da abordagem “bottom-up” na modelagem de setores intensivos em energia. Assim, o modelo BeGreen traz como inovação para os modelos brasileiros a abordagem *bottom-up* conhecida como “Vetor Tecnológico” (MCDUGALL, 1993; HINCHY e HANSLOW, 1996; ABARE, 1996) em setores particularmente intensivos em energia, onde as opções de substituição de insumos são relevantes para o propósito de simular políticas de mitigação de gases de efeito estufa. As diferentes tecnologias podem ser parcialmente substituídas (hipótese de substitubilidade imperfeita) de acordo com funções de produção CRESH (*constant ratio of elasticities of substitution, homothetic*) (HANOCH, 1971; DIXON *et al.*, 1982). Tal estrutura foi inspirada no modelo ABARE-GTEM (*Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics Global Trade and Environment Model*), modelo EGC dinâmico para o tratamento de questões ambientais globais (ABARE, 1996). A especificação de vetores tecnológicos possibilita a introdução de uma restrição sobre a substituição entre os insumos, tornando-a consistente com as características de tecnologias específicas e conhecidas. Isto evita a possibilidade de obtenção de substituição ou combinação de insumos tecnicamente não factíveis. No modelo BeGreen, dois setores se enquadram nesta categoria por apresentarem tecnologias de produção bem caracterizadas: Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados.

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

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

A especificação de dinâmica recursiva é baseada na modelagem do comportamento intertemporal e em resultados de períodos anteriores (*backward looking*). As condições econômicas correntes, tais como a disponibilidade de capital, são endogenamente dependentes dos períodos posteriores, mas permanecem não afetadas por expectativas de *forward-looking*. Deste modo, o investimento e o estoque de capital

seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento inter-setorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas à taxa de depreciação e taxas de retorno. Além disso, assume-se um amortecimento das respostas do investimento. O mercado de trabalho também apresenta um elemento de ajuste intertemporal, que envolve três variáveis: salário real, emprego atual e emprego tendencial.

Além das especificações do núcleo do modelo, anteriormente relatadas, o modelo BeGreen tem acoplado um módulo ambiental inspirado no modelo MMRF-Green (ADAMS *et al*, 2002). O modelo trata as emissões de forma detalhada, separando-as por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias), e atividade emissora. As emissões no modelo estão associadas ao uso de combustíveis (12 combustíveis no total) ou ao nível de atividade do setor, tais como emissões da agropecuária (cuja causa repousa na fermentação entérica de ruminantes, cultivo de arroz e uso de fertilizantes notadamente, que é fonte importante das emissões brasileiras).

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 utilizada³.

A Tabela 1 resume a base de dados de emissões do modelo BeGreen, que se baseiam nas informações do Balanço Energético e do Inventário Brasileiro de Emissões, indicando um volume de 882.018 Gg CO₂-e⁴ em 2005. As emissões derivadas do uso de combustíveis representam 37% do volume de emissões ao passo que os outros 63% estão associados à atividade produtiva dos setores. Os setores de Pecuária e Pesca, Agricultura e Outros representam as maiores fontes de emissão nessa categoria, seguidas por importantes setores industriais, como Fabricação de Aço e Derivados, Petróleo e Gás, Cimento e Produtos Químicos, por exemplo.

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

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

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

4. Simulações e definição dos choques de políticas de mitigação de GEE

Nesta seção, reportam-se os procedimentos utilizados nas simulações de aumento da eficiência energética no uso de energia. Esta tem sido uma política efetivamente discutida no âmbito das propostas de mitigação de GEE no caso brasileiro e, portanto, merece atenção.

Esta simulação tem como motivação as estimativas e perspectivas contidas no Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (EPE, 2010), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, do Ministério

³ Os setores, por outro lado, podem reduzir suas emissões pela substituição de insumos energéticos, via mudança de preços relativos.

⁴ Coeficientes de emissão foram necessários para a transformação das emissões em uma unidade comum, CO₂ equivalente (CO₂-e), obtidos do Relatório Stern (STERN, 2006), a partir das estimativas de Global Warming Potential (GWP).

de Minas e Energia (EPE/MME). A eficiência energética, conforme o estudo aponta, é entendida como sendo a relação entre a quantidade de um bem produzido ou serviço realizado e o correspondente montante de energia final. Os valores de energia conservada indicam a diferença entre a projeção do consumo final de energia, incorporando ganhos de eficiência energética, e o consumo que ocorreria caso fossem mantidos os padrões tecnológicos observados no ano base, 2010 (EPE, 2011). As estimativas de evolução de mudanças no uso da energia, para o período de 2011 a 2030 foram obtidas a partir de projeções setoriais de indicadores de conservação energética. Tratam-se de mudanças de eficiência no consumo intermediário de energias não-elétricas e elétricas; e também mudanças de eficiência no consumo das famílias. Estas informações representam, portanto, projeções tendenciais esperadas de aumento na eficiência energética tanto no consumo intermediário quanto das famílias ao longo do período em análise.

Para os choques, utiliza-se a noção de mudança tecnológica. Neste quadro, uma melhoria na eficiência energética significa um aumento na produção efetiva gerada por uma determinada quantidade de energia. Nas simulações, as variáveis que capturam esta noção são as mudanças tecnológicas no consumo intermediário e no consumo das famílias.

Ademais, as estimativas contidas no plano cobrem o período de 2011 a 2020. Para 2021 a 2030, assumiu-se que as projeções das taxas de eficiência energética até o final do período (2030) não se modificariam em relação às de 2020. Os setores do modelo tiveram que ser compatibilizados para se adequar aos utilizados pela EPE. No acumulado, considerando todos os setores de consumo final, o aumento da eficiência de energias elétricas até 2030 é de 8,46%, ao passo que os ganhos de eficiência de energias não-elétricas (combustíveis) chegam a 11,3%. A tabela 2 retrata as variações de eficiência energética acumulada para os setores e famílias do modelo. As primeiras quatro colunas referem-se às variações acumuladas em cada período especificado da conservação de energia elétrica. Isso significa, por exemplo, que é esperado para o período de 2011 a 2030, um aumento acumulado de 8,21% de eficiência no setor de Agricultura, silvicultura e exploração florestal como decorrência da maior de conservação de energia dos produtos: Energia hidroelétrica de auto-geração, Energia térmica de auto geração e Distribuição de energia elétrica.

TABELA 2 – Evolução de Indicadores de Conservação Energética por Setor (Energias Elétricas e Não-Elétricas)* (var. % acumulada)

Setores	Conservação Elétrica (var. % acumulada)				Conservação não Elétricas (var. % acumulada)			
	2011-2015	2011-2020	2011-2025	2011-2030	2011-2015	2011-2020	2011-2025	2011-2030
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Pecuária e pesca	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Petróleo e gás natural	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Minério de ferro	2.04	3.60	5.18	6.79	3.03	5.37	7.77	10.22
Outros da indústria extrativa	2.04	3.60	5.18	6.79	3.03	5.37	7.77	10.22
Alimentos e bebidas	1.81	3.20	4.61	6.03	1.74	3.08	4.44	5.82
Produtos do fumo	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Têxteis	0.62	1.10	1.58	2.06	1.09	1.93	2.77	3.63
Artigos do vestuário e acessórios	0.62	1.10	1.58	2.06	1.09	1.93	2.77	3.63
Artefatos de couro e calçados	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Produtos de madeira - exclusive móveis	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Celulose e produtos de papel	2.15	3.80	5.47	7.18	2.15	3.80	5.48	7.19
Jornais, revistas, discos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Refino de petróleo e coque	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Álcool	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Produtos químicos	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Fabricação de resina e elastômeros	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Produtos farmacêuticos	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Defensivos agrícolas	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Perfumaria, higiene e limpeza	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Produtos e preparados químicos diversos	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Artigos de borracha e plástico	1.47	2.60	3.74	4.89	1.20	2.13	3.06	4.00
Cimento	1.19	2.10	3.02	3.95	4.12	7.31	10.58	13.96
Outros produtos de minerais não-metálicos	2.89	5.10	7.36	9.67	8.42	14.92	21.81	29.10
Fabricação de aço e derivados	3.57	6.30	9.10	11.98	5.43	9.61	13.96	18.49
Metalurgia de metais não-ferrosos	1.59	2.80	4.03	5.27	4.79	8.48	12.30	16.26
Produtos de metal	3.97	7.00	10.12	13.34	2.75	4.87	7.04	9.24
Máquinas e equipamentos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Eletrodomésticos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Máquinas para escritório e eq. de informática	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Material eletrônico e eq. de comunicações	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Automóveis, camionetas e utilitários	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Caminhões e ônibus	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Peças e acessórios para veículos automotores	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Outros equipamentos de transporte	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Móveis e produtos das indústrias diversas	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Geração de eletricidade	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Transmissão e distribuição de eletricidade	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Distribuição de gás natural	2.55	4.50	6.49	8.52	4.00	7.09	10.27	13.55
Água, esgoto e limpeza urbana	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Construção	5.83	10.30	14.95	19.80	3.61	6.40	9.26	12.19
Comércio	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Transporte, armazenagem e correio	2.35	5.18	8.09	11.08	2.89	5.06	7.28	9.55
Serviços de informação	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Intermediação financeira e seguros	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços imobiliários e aluguel	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços de manutenção e reparação	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços de alojamento e alimentação	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Serviços prestados às empresas	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Educação mercantil	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Saúde mercantil	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Outros serviços	3.08	5.11	7.17	9.28	1.47	4.71	8.06	11.52
Educação pública	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Saúde pública	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Administração pública e seguridade social	2.49	4.36	6.27	8.21	2.90	5.71	8.61	11.58
Setor residencial	2.06	3.86	5.69	7.55	0.98	3.56	6.20	8.91

Fonte: Elaboração própria com base no Plano Decenal de Eficiência Energética 2020.

*Obs.: Os indicadores referentes a conservação elétrica são aplicáveis aos bens energéticos: Energia hidroelétrica de auto-geração, Energia térmica de auto geração e Distribuição de energia elétrica, ao passo que as referentes a conservação não-elétrica são aplicáveis a Lenha, Carvão vegetal, Carvão metalúrgico, Carvão mineral, Bagaço de cana, Gás liquefeito de petróleo, Gasolina, Óleo combustível, Óleo diesel, Querosene, Coque, Álcool, Urânio, Gás natural.

De modo similar, as quatro últimas colunas, representam as variações acumuladas da conservação de energia não elétrica, que se aplicam aos produtos Lenha, Carvão vegetal, Carvão metalúrgico, Carvão mineral, Bagaço de cana, Gás liquefeito de petróleo, Gasolina, Óleo combustível, Óleo diesel, Querosene, Coque, Álcool, Urânio e Gás natural. Neste caso, o aumento projetado da eficiência energética sobre a Agricultura, por exemplo, é de 11,58% entre 2011 e 2030.

Outro ponto fundamental considerado nos choques relativos à eficiência energética refere-se aos custos inerentes à adoção de tecnologias mais eficientes. Estes custos foram obtidos das estimativas do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007). Os custos da energia economizada são resultado da divisão dos custos de implantação da medida (investimento inicial anualizado acrescido dos custos de operação e manutenção) pela energia anual poupada. Tendo por base o estudo do EPE, assume-se um custo médio de 45 US\$ por cada MWh de energia conservadas (R\$ 90/MWh - paridade de R\$ 2,00 por dólar) , considerando o que se denomina “Cenário de mercado”, que reflete o cenário onde as medidas de

eficiência estejam viáveis do ponto de vista do mercado, ou seja, aquelas cuja adoção traria redução de custos ao usuário, analisadas, portanto, apenas pela sua economia de custos. Nas simulações, estes custos foram introduzidos através de um aumento nos custos de produção dos setores, via alteração na taxa dos custos de produção. Esta especificação nos choques das simulações evita o problema de introdução de melhorias tecnológicas sem custo, que necessariamente iriam repercutir de forma positiva nas simulações, um resultado pouco realista. Feito dessa forma, consideramos, explicitamente, custos da política adotada.

Três cenários foram simulados para esta política. As simulações referem-se a três cenários. O primeiro, denominado Ef_1, corresponde ao cenário no qual são aplicados choques de aumento da eficiência em conformidade com as projeções da EPE, juntamente com as estimativas dos custos associados às medidas de eficiência energética. Os cenários Ef_2 e Ef_5, por seu turno, representam cenários hipotéticos no qual o aumento da eficiência energética seria duas e cinco vezes maiores do que as projeções baseadas nas estimativas da EPE, respectivamente. Isto corresponderia a um aumento de eficiência acumulado até 2030 de 17,1% para energia elétrica e 22,9% para não elétricas (ou um aumento médio anual de 0,79% e 1,04%, respectivamente) no caso de um aumento da eficiência duas vezes maior. Já ganhos de eficiência cinco vezes mais intensos equivalem a um aumento acumulado de 44,3% para energia elétrica e 60,3% para não elétricas (aumento médio anual de 1,95% e 2,39%, respectivamente). Para se ter uma ideia da magnitude desses ganhos de eficiência projetados, em 2011 o aumento da eficiência estimado foi de 0,56% para energias elétricas e 0,85% para não elétricas (PDE 2020, 2011). Essas simulações são motivadas pelo potencial de eficiência ainda não explorado no Brasil. Estimativas mostram, por exemplo, que o setor industrial apresenta potenciais significativos no que concerne à energia elétrica, em torno de 39% em 2030 (PNef, 2011). Além disso, há, na indústria, um potencial quase quatro vezes e meia maior para a conservação de energia em combustíveis (fontes não-elétricas) do que em energia elétrica (CNI, 2009). Dessa forma, busca-se capturar o impacto sobre as emissões, por exemplo, de cenários em que os investimentos e consequentes ganhos de eficiência energética fossem mais intensos e efetivos, em maior consonância com o potencial brasileiro de conservação de energia, como apontam os Planos Decenais.

Os mecanismos de dinâmica recursiva permitem a utilização explicitamente temporal do modelo EGC nas simulações. 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.

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

5. Resultados da Política de Melhoria de Eficiência Energética

O objetivo das simulações é projetar os efeitos do progresso tecnológico, em termos do aumento da eficiência energética, sobre a economia e as emissões de GEE. Os resultados devem ser lidos como desvios em relação a uma trajetória da economia brasileira (cenário base) na qual a política de aumento da eficiência energética não ocorresse.

Uma nova tecnologia que poupe energia, de acordo com os mecanismos do modelo, implica uma redução do custo de produção por unidade, o que pode ser visto como uma diminuição do preço de energia. A melhoria da eficiência energética traz consigo, portanto, uma redução implícita nos custos, ou nos preços efetivos. Este efeito sobre preço pode ter consequências diretas sobre o consumo das famílias e as exportações. A melhoria também representa um menor uso de insumos energéticos por unidade de produto, o que pode resultar em uma menor demanda por fatores primários, como capital e trabalho. A estes efeitos devem ser ainda adicionados as implicações dos choques referentes aos custos do investimento em medidas de eficiência energética sobre a produção, estimados com base no Plano de Energia de 2030.

O efeito líquido dessas forças, juntamente a outros fatores como a possibilidade de substituição entre bens energéticos, a estrutura de custos dos setores e mesmo a magnitude dos choques em cada setor (vide tabela 2), vão determinar a intensidade e a direção dos resultados agregados, setoriais e por famílias.

5.1 Resultados Macroeconômicos

Esta seção analisa os impactos do aumento de eficiência energética sobre as principais variáveis agregadas e também sobre o nível de emissões. Dessa forma, a tabela 3 reporta os resultados das simulações, em termos do desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030. Os resultados apontam que um aumento de eficiência energética de 8,4% para energias elétricas e 11,3% para não-elétricas tem um impacto positivo sobre o PIB em relação ao cenário base, de 0,25% acumulado em 2030, atrelado a uma queda das emissões totais de 2,6% (cenário Ef_1). No caso em que se considera que a política alcance uma efetividade duas e cinco vezes maior em termos dos ganhos de eficiência, o impacto sobre o PIB seria de 0,41% e 0,92%, respectivamente, e uma redução de emissões de 5,2% e 11,2%, resultado que pode ser considerado expressivo. Percebe-se, contudo, que à medida que a melhoria de eficiência se intensifica, o efeito sobre o PIB e emissões é decrescente relativamente ao cenário Ef_1. Isto pode ser resultado dos custos relativamente mais altos impostos com a introdução de medidas de eficiência mais ambiciosas.

TABELA 3 - Impactos macroeconômicos do aumento de eficiência energética sobre a economia. (var.% em 2030 – desvio acumulado em relação ao cenário base)

Variáveis Macroeconômicas	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
PIB real	0.25	0.41	0.92
Consumo das Famílias	-0.42	-0.83	-0.95
Investimento	-1.37	-2.80	-6.20
Exportações	2.73	5.05	9.34
Importações	-2.37	-4.52	-8.20
Emprego	-0.62	-1.24	-2.57
Salário real	-4.4	-8.6	-16.8
Pagamento aos fatores primários			
Rentabilidade do capital	-6.4	-11.7	-21.8
Rentabilidade da terra	-3.2	-6.6	-13.1
Redução total das emissões	-2.6	-5.2	-11.2

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

Nota-se que mesmo considerando o custo médio de medidas de eficiência energética do ponto de vista do mercado - introduzidos através de um aumento nos custos de produção dos setores - medidas de eficiência energética têm um impacto positivo sobre o PIB (custo negativo, conforme aponta a literatura). Vale destacar que nas simulações não são considerados os custos econômicos de políticas financiadas pelo governo, que também poderiam repercutir sobre o PIB.

Melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia necessário para produzir um determinado serviço de energia. Via de regra, a melhoria representa um menor uso de insumos energéticos por unidade de produto, o que resulta, conforme os resultados das simulações, em uma menor demanda por fatores primários, como capital e trabalho (vide queda da rentabilidade dos fatores na tabela 3). Como a composição de fatores primários é determinada por uma estrutura Leontief e o crescimento do emprego tendencial é fixado em 3% ao ano (cenário base), os setores mais capital-intensivos apresentam uma diminuição de capital (o capital pode crescer menos intensamente), e como consequência é preciso menos investimento. Soma-se ainda o impacto do aumento dos custos de produção introduzidos nas simulações a partir de estimativas do custo de medidas de eficiência energética. Esse aumento de custos também tem repercussões sobre o nível de demanda dos fatores e do efeito líquido destes determinantes resulta na queda relativa do investimento agregado.

Esse é um resultado intuitivo: com a elevação da eficiência energética a economia passa a crescer mais com menor necessidade de investimento, e reduz suas emissões de GEE. Os resultados indicam que os ganhos de eficiência energética elevam o PIB e reduzem as emissões numa proporção de 1 para 12 (o PIB se eleva em 0,4% para uma queda de emissões de 5%). Os resultados indicam que o coeficiente de emissões/PIB cairia de -3% a -12% como resultado das políticas de eficiência energética.

Apesar da queda de preços, sobretudo sobre dos bens energéticos, o consumo agregado das famílias também se depara com reduções em todos os cenários. Podia-se esperar, conforme aponta a literatura, um efeito “rebound”, no qual ganhos de eficiência e conseqüente redução de preços, tem um efeito de estímulo ao consumo, inclusive de bens energéticos. Isso até acontece para alguns decis de renda, que serão mais bem analisados nos resultados para as famílias. Mas para a maioria dos decis ocorre uma queda do consumo, devido à queda do emprego, do salário real e da rentabilidade dos demais fatores primários, que compõe a renda das famílias.

Por outro lado, as exportações tendem a se beneficiar, dado que a redução dos custos de produção tornam as exportações mais competitivas no mercado internacional, e sob curvas de demanda negativamente relacionadas aos custos as exportações se elevam.

5.2 Resultados das Emissões por combustíveis

Os resultados por combustíveis possibilita analisar as reduções de emissões mais relevantes por fontes, decorrentes da política de eficiência energética. A tabela 4 reporta as variações acumuladas em 2030 e a sua contribuição para a redução total de emissões, em cada cenário simulado.

TABELA 4 - Variação acumulada das emissões e contribuição por fontes emissoras, decorrentes da política de melhoria de eficiência energética (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030).

Emissores	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)					
	Simulações					
	Ef 1		Ef 2		Ef 5	
	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição
Carvão Metalúrgico	-11.5	5.63%	-21.8	5.42%	-46.2	5.15%
Carvão Mineral	-9.0	15.81%	-17.1	15.39%	-37.5	15.11%
Lenha	-4.9	5.84%	-9.7	5.86%	-22.6	6.12%
Carvão Vegetal	-10.9	11.95%	-20.5	11.44%	-42.9	10.71%
Bagaço de Cana	-3.8	3.37%	-7.6	3.40%	-18.0	3.62%
Petróleo e Gás Natural	-5.0	2.38%	-9.7	2.35%	-22.3	2.40%
GLP	-3.6	1.74%	-7.0	1.72%	-14.8	1.64%
Gasolina	-5.2	14.44%	-9.9	14.01%	-20.9	13.31%
Óleo Combustível	-7.9	6.60%	-15.2	6.46%	-33.0	6.28%
Óleo Diesel	-5.8	23.88%	-11.4	23.84%	-25.9	24.18%
Querosene	-7.1	4.30%	-13.9	4.29%	-31.0	4.28%
Coque	-10.0	6.28%	-19.0	6.11%	-41.1	5.91%
Outros Refino de Petróleo	-1.8	1.23%	-3.6	1.25%	-8.3	1.31%
Álcool	-4.4	2.59%	-8.4	2.53%	-18.5	2.48%
Atividade produtiva	0.2	-6.04%	0.3	-4.07%	0.4	-2.50%
Redução total das emissões	-2.6	100%	-5.2	100%	-11.2	100%

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

Carvão metalúrgico, Carvão vegetal e Coque respondem pelas maiores variações acumuladas em 2030, principalmente para os dois primeiros cenários simulados, embora em termos da contribuição para o resultado final de redução de emissões - que leva em conta a participação das emissões de cada fonte - Óleo diesel, Carvão mineral, Gasolina e Carvão vegetal são as fontes de maior destaque. Além disso, é razoável esperar a variação positiva verificada para as emissões de “Atividade”, uma vez que sobre ela não incidem diretamente os choques de eficiência energética (os choques representam modificações no consumo intermediário de energias não-elétricas e elétricas; e também no consumo das famílias).

5.3 Resultados por grupos de famílias

Um resultado bastante discutido na literatura é a incidência distributiva das políticas climáticas. Também para a política de eficiência energética, o modelo BeGreen permite analisar a incidência sobre os grupos de famílias, classificadas segundo decis de renda. A tabela 5 mostra os impactos sobre o consumo das famílias, como desvios acumulados em relação ao cenário base em 2030. Vale lembrar que os resultados não representam quedas absolutas do consumo ou bem-estar, mas sim, reduções relativas ao cenário base.

Para o caso da política de aumento da eficiência energética, os resultados sugerem que a política tem efeitos negativos sobre o consumo das classes de renda mais altas vis-à-vis impactos menos intensos ou até positivos sobre as famílias de baixa renda (H01, H02 e H03). Tal resultado é explicado pela composição das compras das famílias em cada decil de renda e também pela queda do emprego e salário real, que tem impactos sobre a renda.

TABELA 5 - Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base).

Famílias	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
	Consumo	Consumo	Consumo
H01	-0.06	-0.21	0.07
H02	0.13	0.20	1.13
H03	-0.12	-0.26	0.07
H04	-0.17	-0.34	-0.07
H05	-0.21	-0.41	-0.22
H06	-0.33	-0.61	-0.64
H07	-0.37	-0.69	-0.82
H08	-0.43	-0.80	-0.97
H09	-0.52	-1.00	-1.32
H10	-0.59	-1.19	-1.50

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

Mesmo considerando os custos com os investimentos em medidas de eficiência, de modo geral, os ganhos de eficiência energética acarretam em queda de preços dos produtos. Essa queda atinge a grande maioria dos bens, com impactos diferenciados entre bens alimentícios, energéticos e de serviços. Apenas alguns serviços apresentaram aumentos de preços, devido aos custos impostos pelas medidas de eficiência energética: Serviços de informação, Instituição financeira e seguros, Serviços prestados a empresas, Educação mercantil e Saúde mercantil (ver tabela 6). A despeito da redução mais acentuada dos preços energéticos (bens energéticos representam menos de 10% do consumo), como as famílias de mais alta renda tem um gasto proporcionalmente maior com serviços e também se beneficiam com menor intensidade da queda dos produtos alimentícios e de vestuário, elas experimentam uma maior redução relativa do consumo em relação ao cenário base. Por outro lado, os resultados positivos encontrados nos decis mais baixos de renda são resultado do maior consumo de bens alimentícios, notadamente.

A tabela 6 retrata os efeitos acumulados em 2030 sobre os preços para as famílias de bens selecionados. Nota-se a expressiva redução nos preços de bens energéticos, e a elevação dos preços de serviços.

TABELA 6 - Efeitos sobre os preços para as famílias do aumento da eficiência energética para bens selecionados (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030).

Bens	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
Lenha	-17.0	-30.5	-56.9
Carvão vegetal	-15.1	-28.1	-57.0
Bovinos e outros animais vivos	-4.5	-8.4	-15.3
Abate e preparação de produtos de carne	-2.5	-4.4	-7.9
Carne suína fresca, congelada ou refrigerada	-2.7	-4.8	-8.6
Carne ave fresca, congelada ou refrigerada	-2.2	-4.0	-7.1
Áçucar	-2.1	-3.6	-6.6
Óleo de soja refinado	-2.9	-5.1	-9.0
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	-2.9	-5.1	-8.9
Arroz beneficiado e produtos derivados	-3.0	-5.2	-9.2
Carfé torrado e moído	-3.5	-6.2	-11.0
Artigos do vestuário	-1.7	-3.0	-5.3
GLP	-8.2	-15.1	-31.0
Gasolina	-11.9	-21.3	-41.0
Óleo diesel	-14.5	-26.2	-50.2
Querosene	-9.8	-18.0	-36.4
Outros refino de petróleo	-3.1	-5.5	-9.2
Álcool	-13.8	-24.6	-46.2
Energia elétrica	-12.8	-23.2	-44.4
Gás natural	-12.4	-22.5	-43.4
Transporte de passageiro	-3.5	-5.5	-9.2
Serviços imobiliários e aluguel	-1.9	-3.0	-6.2
Serviços de informação	5.9	6.5	28.1
Instituições financeiras e seguros	1.7	3.5	8.1
Serviços prestados às empresas	0.7	1.0	2.4
Educação mercantil	1.7	4.7	14.1
Saúde mercantil	0.5	1.3	1.2
Serviços prestados às famílias	-0.8	-1.3	-4.2

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

Os impactos sobre a utilidade das famílias podem ser visualizados na tabela 7.

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

Famílias	Simulações de aumento da eficiência energética (var. % acumulada em 2030)		
	Ef_1	Ef_2	Ef_5
	Utilidade	Utilidade	Utilidade
H01	-0.13	-0.37	0.00
H02	0.31	0.53	2.24
H03	-0.11	-0.24	0.44
H04	-0.18	-0.37	0.21
H05	-0.20	-0.39	0.18
H06	-0.38	-0.69	-0.44
H07	-0.44	-0.81	-0.68
H08	-0.51	-0.95	-0.86
H09	-0.65	-1.23	-1.34
H10	-0.73	-1.48	-1.52
Indicador			
Varição Coeficiente de GINI	-0.01%	-0.01%	-0.01%

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

O padrão dos resultados é similar aos apresentados para o consumo, no qual as famílias de mais baixa renda são relativamente favorecidas pelas medidas de eficiência energética. Um resultado sempre importante a se ressaltar no tocante a impactos distributivos é o indicador que mede a variação do coeficiente de GINI. Embora a política quase não modifique o coeficiente (variação marginal de -0,01%), o indicador e os resultados sugerem que a política é não-regressiva, um indicador importante para os formuladores de política.

CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi avaliar políticas de aumento da eficiência energética para o caso brasileiro, que nos últimos tempos têm sido amplamente discutidas e adotadas em diversos países. O fortalecimento das evidências das mudanças climáticas, tendo como causa mais provável as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE), e as projeções quanto às possíveis consequências desse fenômeno, têm culminado em uma série de debates e conferências para tratar das responsabilidades, metas, políticas de adaptação e, sobretudo, mitigação desta externalidade global.

Também motivada pela Política Nacional da Mudança do Clima (PNMC, 2009) e pela Política Nacional de Eficiência Energética (PNef, 2011) adotadas no Brasil, foram analisados os potenciais impactos da melhoria de eficiência energética sobre a economia brasileira. 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. O módulo ambiental contabiliza explicitamente as emissões para cada fonte e setor do modelo, incluindo o residencial. No que tange à especificação da tecnologia de setores energéticos, o modelo inova ao utilizar em sua estrutura de produção setores modelados por vetores tecnológicos e setores com possibilidades de substituição entre diferentes fontes de energia: renováveis, não renováveis e de auto-geração.

Os resultados apontados pela política de melhoria da eficiência energética são relevantes. Com a elevação da eficiência energética a economia passa a crescer mais, reduzindo suas emissões de GEE, mesmo considerando alguns de seus custos. Os resultados indicam que os ganhos de eficiência energética elevam o PIB e reduzem as emissões numa proporção de 1 para 12 (o PIB se eleva em 0,4% para uma queda de emissões de 5%). Os resultados projetam que o coeficiente de emissões/PIB cairia de -3% a -12% como resultado das políticas de eficiência energética. Em termos distributivos, os resultados sugerem que a política é não-regressiva, um indicador importante nas considerações de uma política.

Não obstante os efeitos potenciais positivos dessa política, muitos parecem ser os obstáculos impostos para sua efetiva execução. O próprio Plano Nacional de Eficiência Energética (PNef, 2011) destaca a falta de informações, a visão de curto prazo do empresariado brasileiro na aplicação de recursos e amortização dos investimentos, a ausência de cultura de gestão energética e a escassez de crédito, como empecilhos para o alcance do potencial de eficiência energética que o Brasil possui. Assim, investimentos do setor privado em tecnologias de “baixo carbono” devem requerer incentivos que tornem atraentes estas opções. Se uma tecnologia de baixo carbono possui custo maior que a usual, ou demanda maiores investimentos, dificilmente os setores produtivos estariam interessados a utilizá-la.

Um trabalho como este, abordando um tema complexo e relativamente novo, não deixa de ter suas limitações. 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. Outro ponto a se ressaltar é que o modelo não distingue as emissões por diferentes gases de efeito estufa, embora os contabilize, como a maior parte dos estudos, a partir da transformação das emissões desses gases em uma unidade comum (CO₂ equivalente). Além disso, não são considerados os benefícios que a mitigação de gases de efeito estufa poderiam implicar, devido à dificuldade e incerteza envolvidas na mensuração dos possíveis impactos que seriam causados pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARE. *The Megabare Model: Interim Documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. Canberra, 1996, 71 p.

ADAMS, P. D.; HARRIDGE, M.; PARMENTER, B. R. *MMRF-GREEN: A Dynamic, Multi-sectoral, Multi-regional Model of Australia*. Australia: Monash University, Centre of Policy Studies, Impact Project, 2000.

- AZAR, C. The cost of reducing CO₂ emissions. In: Schneider, S. H., Rosencranz, A., Mastrandrea, M. D., & Kuntz-Duriseti, K. *Climate change science and policy*. Washington, DC: Island Press, 2010.
- BERGMAN, L. Energy Policy Modeling: a survey of general equilibrium approaches. *Journal of Policy Modeling*. v. 10, n. 3, p. 377-399, 1988.
- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Segundo Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal* INERAGEE, 2010. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>)
- BROOKES, L. G. The Greenhouse effect: the fallacies in energy efficiency solution. *Energy Policy* v.18 n. 2, p. 199-201. 1990.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional*. Brasília, 2009. Disponível em:<
http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/05/220/20121126132514523849i.pdf> Acesso em Novembro de 201.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Oportunidades de eficiência energética para a indústria*. CNI: Brasília, 2010.
- DIXON, P. B.; PARMENTER B. R.; SUTTON, J. M.; VINCENT D. P. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. Amsterdam: North-Holland, 1982.
- EDMONDS, J.; KIM, S. H.; McCracken, C. N.; SANDS, R. D.; WISE, M. A. *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-2000 Period*. Washington, D.C.: Pacific Northwest National Laboratory, operated by Battelle Memorial Institute. 1997.
- ELETROBRAS. *Resultados Programa Nacional de Conservação de Energia – Procel 2012 (ano base 2011)*. Rio de Janeiro, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em Fevereiro de 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional 2010 - Ano Base: 2011*. Rio de Janeiro: EPE, 2010, 53 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Plano Nacional de Energia 2030*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.
- FRANKEL, J. *An elaborated proposal for global climate policy architecture: Specific formulas and emission targets for all countries in all decades*. Discussion Paper 2008-08, Cambridge, MA: Harvard Project on International Climate Agreements, 2008.
- GELLER, H, ATTALI, S. *The Experience with Energy Efficiency Policies and Programmes in IEA Countries: Learning from the Critics*. Paris: International Energy Agency, 2005
- GREENING, L.; GREENE, D.L.; DIFIGLIO, C. Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy Policy*, v. 28, p.389–401, 2000.
- GOUVELLO, C. (Ed.) *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. 2010. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1276778791019/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf> Acesso em 5 de Julho de 2011.
- HANOCH, G. CRESH production functions. *Econometrica*. USA, v. 39, n. 5, p. 695–712, 1971.
- HINCHY, M.; HANSLOW, K. *The MEGABARE model: interim documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 1996. Disponível em: < <http://www.abareconomics.com>>.

- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*. 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf> . Acesso em Setembro de 2010.
- KHAZZOOM, D. J. Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances. *The energy journal* v.1, p.21-40, 1980.
- KLEPPER, G. The future of the European Emission Trading System and the Clean Development Mechanism in a post-Kyoto world, *Energy Economics*, 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V7G-51XR3M5-1/2/8117ca657fa66e17e77bcd742e04c0b3>> Acesso em Dezembro de 2011.
- LINARES, P.; LABANDEIRA, X. Energy Efficiency: Economics and Policy. *Journal of Economic Surveys*, v.24: p. 573–592, 2010.
- MCDUGALL, R. *Energy taxes and greenhouse gas emissions in Australia*. Working Paper. Centre of Policy Studies/IMPACT Centre: Monash University, g-104, 1993.
- METCALF, G.; WEISBACH, D. Linking Policies When Tastes Differ: Global Climate Policy in a Heterogeneous World. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010.
- NORDHAUS, W. D. *A question of balance: weighing the options on global warming policies*. New Haven, Yale University Press, 2008.
- OLMSTEAD, S. M.; STAVINS, R. N. *Three key elements of post-2012 international climate policy architecture*. HKS Faculty Research Working Papers Series RWP10-030. 2010.
- PATTERSON, M. What is Energy Efficiency? - Concepts, Indicators and Methodological Issues. *Energy Policy*, v. 24, n.5, p. 377-390, 1996.
- PETER, W. W. HORRIDGE, M.; MEGUER, G.A. NAVQUI, F.; PARMENTER, B. R. *The theoretical structure of MONASH-MRF*. Clayton: Center of Policy Studies, 1996. 121 p. (Preliminary working paper, OP-85). Disponível em: <http://www.monash.edu.au/polycy>. Acesso em: 12 jul. 2010.
- RONG, F. Understanding developing country stances on post-2012 climate change negotiations: Comparative analysis of Brazil, China, India, Mexico, and South Africa, *Energy Policy* v. 38, n. 8, p. 4582-4591, 2010.
- STERN, N. *The Economics of Climate Change – the Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.
- TOURINHO, O. A. F.; DA MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. *Uma Aplicação Ambiental de um Modelo de Equilíbrio Geral*. IPEA. Texto para discussão n. 976, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf>. Acesso em Fevereiro de 2010.
- UK Energy White Paper. *Our Energy Future-Creating a Low carbon Economy*. Fev. 2003. Disponível em: <http://www.berr.gov.uk/file_10719.pdf> Acesso em Dezembro de 2011.
- VIOLA, E., *Brazil in the global and regional politics climate*. Global Summit on Sustainable Development and Climate Change. New Delhi, 2009;
- WATSON, R. T., (Ed.) *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Contributions of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2001.
- WING I. S. *Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis*. The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical note N 6, 2004.
- ZHANG, Z.X. Multilateral trade measures in a post-2012 climate change regime? What can be taken from the Montreal Protocol and the WTO? *Energy Policy* v.37, n.12, p. 5105-5112, 2009.