

## AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL: UMA OPÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO?

ALINE SOUZA MAGALHÃES \*  
EDSON PAULO DOMINGUES †

### Resumo

Um dos efeitos mais discutidos da atividade econômica sobre o meio ambiente são as mudanças climáticas originadas pela acumulação de gases de efeito estufa. Nesse contexto, o Brasil confirmou metas voluntárias de redução de emissões e propôs Planos Setoriais de Mitigação. Um desses planos refere-se ao aumento da eficiência energética. Neste artigo estimamos o impacto dessa melhoria no uso de energia sobre a economia brasileira, considerando seus setores produtivos e famílias, assim como o potencial de redução de emissões. Os resultados obtidos mostram a relevância das políticas de eficiência energética, tanto para o crescimento da economia como para a redução de emissões.

**Palavras-chave:** Economia de Baixo Carbono, Eficiência Energética, Impactos Distributivos, Equilíbrio Geral Computável.

### Abstract

One of the most discussed effects of economic activity on the environment are climate changes caused by the accumulation of greenhouse gases. Brazil has confirmed voluntary emissions reduction targets and propose Sectoral GHG Mitigation Plans. One of these plans refers to increasing energy efficiency. In this paper, we estimate the impact of this improvement in energy use on the Brazilian economy, considering its productive sectors and families, as well as the emission reduction potential. The results show the importance of energy efficiency policies, both for economic growth and for reducing emissions.

**Keywords:** Low Carbon Economy, Energy Efficiency, Distributive Impacts, Computable General Equilibrium.

**JEL classification:** Q42, Q52, Q54, C68

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.11606/1413-8050/ea146090>

---

\* Universidade Federal de Minas Gerais. Email: [alinesm@cedeplar.ufmg.br](mailto:alinesm@cedeplar.ufmg.br)

† Universidade Federal de Minas Gerais. Email: [epdomin@cedeplar.ufmg.br](mailto: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. Esses 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 século 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 dessas 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 à 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<sup>1</sup>. 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 China, Índia e Brasil têm sido chamados a se posicionarem em relação à mitigação dos gases de efeito estufa, pelo rápido crescimento esperado do PIB, consumo de energia fóssil e emissões. A importância da China nas emissões atuais e a ausência de compromissos por parte do país, por exemplo, tem sido apontada como parte do argumento de ineficiência de políticas domésticas ou mesmo do Protocolo de Quioto. Estimativas apontam que a ausência de compromissos formalizados, principalmente dos países em desenvolvimento, quadruplica o custo global da redução de emissões necessário para estabilizar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa em re-

---

<sup>1</sup> Ver Olmstead & Stavins (2010), Metcalf & Weisbach (2010), Nordhaus (2008), Rong (2010), Zhang (2009), Klepper (2011), Frankel (2008)

lação a um cenário de minimização de custos que inclui redução de emissões por todos os países (Nordhaus 2008, Aldy 2012). Assim, as oportunidades de reduções de emissões a baixo custo são maiores quando considerados os países em desenvolvimento (Watson 2001). Espera-se que as emissões de CO<sub>2</sub> desses países representem mais de metade das emissões globais até 2030, embora em termos per capita, os países desenvolvidos ainda estejam à frente. (Bosetti & Buchner 2009). Portanto, consideradas as devidas diferenças com relação à China e Índia, o Brasil poderá ter metas obrigatórias de redução de emissões em um 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 nesse 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. Essas 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 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 2015), é provável que nos próximos anos, a participação dessa 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, notadamente termoeletrico, 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 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-Quioto, 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. Essa última política, em particular, é um tema ainda pouco discutido na economia brasileira. Programas de sucesso em termos de eficiência energética e que têm 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 tCO<sub>2</sub>-e em 2020.

Este estudo contribui para a literatura nesse tema, ao examinar as implicações de políticas de eficiência energética no Brasil, inclusive mensurando o impacto distributivo entre diferentes classes de famílias. Tal alternativa pode configurar-se de menor custo para o país contribuir para a mitigação do aque-

cimento 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 alguns 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 (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 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. Essas 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” (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 2007). Em outras palavras, melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia necessário para produzir um determinado serviço de energia (Patterson 1996).

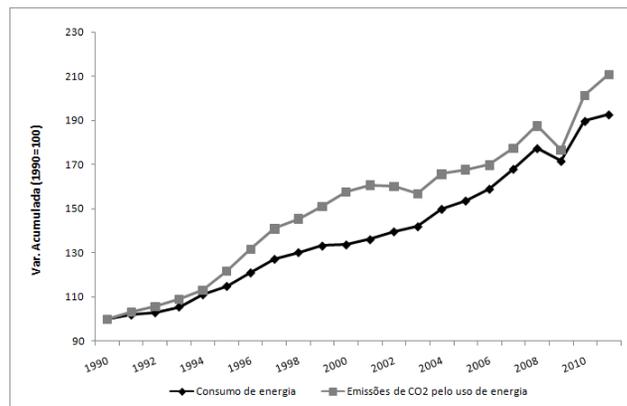
Melhorar a eficiência energética, nos dias atuais, não tem sido apontado apenas como uma ação fundamental para a redução da dependência energética, aumento da segurança no fornecimento de energia e de sustentabilidade (Stern 2007). A eficiência e conservação de energia têm assumido uma importância renovada com o fortalecimento das evidências das mudanças climáticas. Essas 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 (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 2007). A chave para a existência

de todos esses 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 & Labandeira 2010).

Conforme aponta Linares & 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, nesse contexto, ilustra a correlação entre o consumo de energia e as emissões pelo seu uso, no Brasil.

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 (Hoffmann 2009). O Intergovernmental Panel on Climate Change (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 uma 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 & Attali 2005).



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

**Figura 1:** Consumo de energia e Emissões de CO<sub>2</sub> pelo seu uso. Brasil 1990-2010 (Base:1990)

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 & Attali 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*”<sup>2</sup>. 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. Essa mudança de comportamento acaba por corroer a economia de energia alcançada pela maior eficiência e, conseqüentemente, a minimização dos resultados sobre a redução das emissões de GEE.

Três causas são apontadas para explicar esse 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. Nesse 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 & Labandeira 2010). Ainda assim, segundo Gillingham et al. (2013), mesmo levando em conta o efeito “*rebound*”, em geral superestimado na literatura, as medidas de eficiência trariam um efeito líquido positivo em relação à conservação de energia.

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 têm 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 & Labandeira 2010).

As metas propostas pelo Brasil, de redução de emissões brasileiras, instituída pelo PNMC, incluem várias das ações implementadas por programas de incentivo à 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 energé-

---

<sup>2</sup>Khazzoom (1980), Brookes (1990), Greening et al. (2000) para uma resenha

ticas. 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 à 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 tCO<sub>2</sub>-e, o que corresponde também às emissões proporcionadas por 67 mil veículos em um ano (PROCEL, 2012).

Outro programa relevante nessa 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 relevantes, como é o caso de refrigeradores, cuja eficiência média evoluiu em 48% no período. (EPE, 2006). Esses 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 residencial<sup>3</sup>. Não obstante, esse 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 à maior efetivação dos investimentos direcionados à 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 car-

---

<sup>3</sup>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% (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 2012).

bono” requerem incentivos que tornem atraentes essas opções. Se uma tecnologia de baixo carbono possui custo maior que a usual, ou demanda maiores investimentos, dificilmente os setores produtivos estariam 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 esse 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 por meio 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 <sup>4</sup>.

No Brasil, a literatura sobre o tema é relativamente recente. Entre diversos estudos sobre o tema pode-se citar: Guilhoto et al. (2002), Tourinho et al. (2003), Rocha (2003), Lopes (2003), Hilgemberg & Guilhoto (2006), Ferreira Filho & Rocha (2007), Feijo & Porto (2009), Margulis & Dubeux (2010), Lima (2011), Silva & Gurgel (2012), Gurgel (2012), Magalhães (2013), embora nenhuma das referências trate especificamente políticas de eficiência energética. Esse é o primeiro trabalho a abordar a questão sobre melhorias de eficiência e sua importância para mitigação de gases de efeito estufa.

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 com maior detalhamento energético e ambiental para a avaliação dos impactos de políticas de mitigação das mudanças climáticas no Brasil. Este artigo contribui com essa literatura ao desenvolver um modelo EGC nacional, dinâmico, especialmente construído para a realidade e especificidade brasileira.

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

---

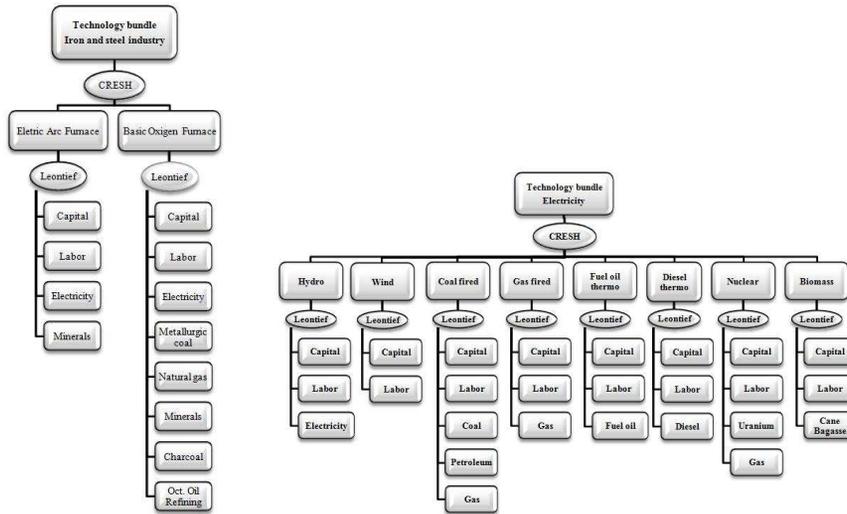
<sup>4</sup>Nordhaus (2008), Manne (2005), Rose (2009), Weyant (1993), Springer (2003), Clarke et al. (2009), Viguier & Babiker (2003), Jorgenson & Wilcoxon (1993) e Bye (2000), dentre outros.

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. 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.

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 multiproduto, 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.

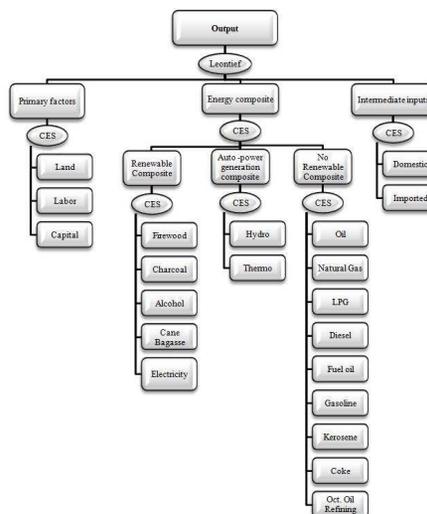
No modelo BeGreen, um esforço foi feito para se mover em direção ao maior realismo da abordagem “*bottom-up*” na modelagem de setores intensivos em energia. Assim, o modelo BeGreen traz como inovação para os modelos brasileiros a abordagem *bottom-up* conhecida como “Vetor Tecnológico” (McDougall 1993, Hinchy & 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. Isso evita a possibilidade de obtenção de substituição ou combinação de insumos tecnicamente não factíveis. No modelo BeGreen, dois setores se enquadram nessa categoria por apresentarem tecnologias de produção bem caracterizadas: Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados. A Figura 2 apresenta as especificações tecnológicas destes setores.



Fonte: Elaboração própria

**Figura 2:** Estrutura hierárquica do vetor tecnológico da 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 por meio de uma função CES: composto renovável, auto geração de energia elétrica e composto não renovável. A Figura 3 retrata a estrutura hierárquica de produção desses setores:



Fonte: Elaboração própria.

**Figura 3:** Estrutura hierárquica dos setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos

As Tabelas a seguir apresentam um conjunto de indicadores energéticos para 2005 (ano base do modelo), como a composição setorial do uso de bens

energéticos, que ajudam a elucidar os resultados encontrados. A tabela 1, por exemplo, traz a participação dos bens intensivos em energia sobre os custos de produção setorial, enquanto a tabela 2, traz a participação dos bens energéticos no uso de insumos dos principais setores intensivos em energia.

No modelo e na sua base de dados, as famílias estão especificadas de acordo com decis de renda obtidos a partir dos dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) referente à 2002/2003 do IBGE. Deles, obtém-se a classificação das famílias por faixa de renda mensal,  $i = 1, 2, \dots, 10$ , mensurada por unidade de consumo. Em seguida, foram criadas as frações de renda consumida para cada item da matriz, para as dez famílias representativas por decil de renda. A tabela 3 retrata as principais características dos decis de renda pela POF 2002-2003.

A demanda das famílias é especificada a partir de uma função de utilidade não homotética de Stone-Geary (Peter et al. 1996)<sup>5</sup>. 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*. Desse modo, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento inter-setorial a partir de regras preestabelecidas, 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. 2000). 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 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 endó-

---

<sup>5</sup>No modelo não há uma conexão explícita entre remuneração dos fatores e o consumo das famílias (renda). Essa relação surge da identidade macroeconômica do PIB no lado do dispêndio e do lado da renda.

**Tabela 1:** Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005

Setores	Bens Energéticos											
	Lenha	Carvão Vegetal	Petróleo	Gás Natural	Carvão lúrgico	Meta-	Carvão Mineral	Mi-	Bagaço de Cana	GLP	Gasolina	Óleo Combustível
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	65,8	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2	0,6	-
Pecuária e pesca	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	10,1	0,5	2,2
Petróleo e gás natural	-	-	-	34,4	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Minério de ferro	-	-	-	-	6,0	-	9,6	-	-	-	-	13,0
Outros da indústria extra-tiva	-	-	-	-	-	-	11,7	-	-	-	-	2,4
Alimentos e bebidas	10,3	0,5	-	-	-	-	-	70,6	40,6	1,1	13,9	-
Produtos do fumo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
Têxteis	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	2,2	-
Artigos do vestuário e acessórios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,5	-
Artefatos de couro e calçados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Produtos de madeira - exclusive móveis	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9
Celulose e produtos de papel	5,5	0,1	-	-	-	-	6,7	0,2	-	-	1,0	1,8
Jornais, revistas, discos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Refino de petróleo e coque	-	-	100,0	9,0	-	-	-	-	-	-	59,0	-
Álcool	-	-	-	-	-	-	-	14,3	-	-	0,1	1,0
Produtos químicos	2,2	-	-	0,9	-	-	8,4	-	-	-	-	7,5
Fabricação de resina e elastômeros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,9
Produtos farmacêuticos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-
Defensivos agrícolas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-
Perfumaria, higiene e limpeza	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	0,2	-	-
Produtos e preparados químicos diversos	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	0,3
Artigos de borracha e plástico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	3,9
Cimento	-	-	-	-	-	-	5,5	-	-	-	-	2,2
Outros produtos de minerais não-metálicos	9,8	4,3	-	-	-	-	0,2	-	10,8	0,3	4,3	-
Fabricação de aço e derivados	-	84,3	-	-	94,0	-	-	-	-	-	-	4,0
Metalurgia de metais não-ferrosos	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	3,9
Produtos de metal	0,1	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	2,2

**Tabela 1:** Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005 (continuação)

Setores (continuação)	Bens Energéticos										
	Lenha	Carvão Ve- getal	Petróleo	Gás Na- tural	Carvão lúrgico	Meta- Carvão	Mi- neral	Bagaço de Cana	GLP	Gasolina	Óleo Com- bustível
Eletrodomésticos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2
Máquinas para escritório e eq. de informática	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,9
Material eletrônico e eq. de comunicações	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,1
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Automóveis, camionetas e utilitários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	1,5
Caminhões e ônibus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
Peças e acessórios para veículos automotores	0,3	-	-	-	-	-	0,6	-	-	0,1	4,5
Outros equipamentos de transporte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,6
Móveis e produtos das indústrias diversas	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4
Geração de eletricidade	-	-	-	-	-	-	56,6	14,9	-	1,1	9,9
Transmissão e distribuição de eletricidade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-
Distribuição de gás natural	-	-	-	55,6	-	-	-	-	-	0,2	-
Água, esgoto e limpeza urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-
Construção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-
Comércio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	-
Transporte, armazenagem e correio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	8,8
Serviços de informação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-
Intermediação financeira e seguros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-
Serviços imobiliários e aluguel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-
Serviços de manutenção e reparação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-
Serviços de alojamento e alimentação	0,1	0,5	-	-	-	-	-	-	17,2	0,1	-
Serviços prestados às empresas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-
Educação mercantil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-
Saúde mercantil	-	-	-	-	-	-	-	-	10,7	1,5	-
Outros serviços	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-
Educação pública	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,1	-
Saúde pública	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,2	-
Administração pública e seguridade social	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1	12,0	-
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tabela 1:** Indicadores da composição setorial do uso dos bens energéticos – 2005 (continuação)

Setores	Bens Energéticos														
	Óleo Diesel	Querosene	Coque	Outros de Petróleo	Refino	Alcool	Urânio	Energia Hidráulica Pública	Energia Hidráulica Geração	Hi-Auto	Energia Térmica Pública	Energia Térmica Auto Geração	Energia Eólica Pública	Distribuição de energia elétrica	Distribuição de gás natural
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	8,8	-	-	1,3		0,8	-	-	5,1	-	-	-	-	0,7	-
Pecuária e pesca	3,9	-	-	0,2		0,4	-	-	4,1	-	-	-	-	0,5	-
Petróleo e gás natural	3,1	-	-	-		-	-	-	-	-	9,3	-	-	3,7	-
Minério de ferro	1,4	-	2,2	0,1		-	-	-	8,2	-	-	1,0	-	0,9	1,6
Outros da indústria extra-tiva	1,5	-	1,0	-		0,3	-	-	5,4	-	-	0,6	-	0,6	1,1
Alimentos e bebidas	2,4	0,1	-	0,6		0,2	-	-	1,0	-	34,1	-	-	6,4	5,4
Produtos do fumo	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1
Têxteis	0,6	-	-	0,1		0,2	-	-	1,2	-	-	0,6	-	1,9	3,2
Artigos do vestuário e acessórios	0,1	-	-	-		0,1	-	-	-	-	0,1	-	-	0,5	0,5
Artefatos de couro e calçados	0,2	-	-	-		-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,5	0,5
Produtos de madeira - exclusive móveis	0,8	-	-	0,3		-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,7	0,6
Celulose e produtos de papel	0,1	0,1	-	0,7		0,1	-	-	7,4	-	19,9	-	-	2,6	5,5
Jornais, revistas, discos	-	-	-	0,3		-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,5	0,5
Refino de petróleo e coque	0,3	-	-	0,7		42,6	-	-	-	-	4,2	-	-	1,7	0,1
Alcool	0,2	-	-	-		-	-	-	0,2	-	1,0	-	-	0,2	-
Produtos químicos	0,2	6,2	-	56,4		2,1	-	-	0,2	-	4,3	-	-	4,0	9,0
Fabricação de resina e elastômeros	0,1	0,2	-	1,9		0,1	-	-	0,1	-	1,8	-	-	1,7	3,9
Produtos farmacêuticos	0,1	-	-	0,1		3,4	-	-	-	-	0,6	-	-	0,6	1,3
Defensivos agrícolas	-	-	-	-		9,3	-	-	-	-	0,3	-	-	0,3	0,6
Perfumaria, higiene e limpeza	-	-	-	0,2		6,6	-	-	-	-	0,3	-	-	0,3	0,6
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,1	0,1	-	1,0		1,7	-	-	-	-	0,3	-	-	0,3	0,7
Produtos e preparados químicos diversos	-	-	-	0,3		-	-	-	-	-	0,9	-	-	0,8	1,9
Artigos de borracha e plástico	0,8	0,3	-	3,1		0,1	-	-	0,1	-	1,9	-	-	1,8	4,0
Cimento	0,2	0,2	19,8	0,5		-	-	-	12,7	-	-	-	-	0,7	0,2
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,3	0,2	-	2,5		-	-	-	0,1	-	0,2	-	-	2,5	8,4
Fabricação de aço e derivados	0,2	0,6	71,2	1,1		-	-	-	10,5	-	15,0	-	-	5,1	11,3
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,5	0,1	5,5	0,7		-	-	-	41,4	-	0,7	-	-	3,1	5,0
Produtos de metal	-	0,1	0,2	0,6		-	-	-	0,8	-	-	-	-	1,9	-
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,5	0,2	-	2,4		-	-	-	-	-	0,2	-	-	1,4	1,3





**Tabela 2:** Participação dos bens energéticos no uso de insumos dos setores intensivos em energia – 2005 (continuação)

Bens energéticos	Setores intensivos em energia							
	Fabricação de Aço e derivados	Metais não ferrosos	Máquinas e equipamentos	Máquinas elétricas	Geração de eletricidade	Transmissão e Distribuição de energia	Gás Natural	Transporte, armazenamento e correios
Lenha	-	-	-	-	-	-	-	-
Carvão Vegetal	2,6	-	-	-	-	-	-	-
Petróleo	-	-	-	-	-	-	-	-
Gás Natural	-	-	-	-	-	-	79,2	-
Carvão Metalúrgico	8,0	-	-	-	-	-	-	-
Carvão Mineral	-	-	-	-	4,1	-	-	-
Bagaço de Cana	-	-	-	-	2,5	-	-	-
GLP	-	-	-	-	-	-	-	-
Gasolina	-	0,4	0,2	0,2	2,4	0,9	0,8	1,7
Óleo Combustível	0,4	1,3	0,3	0,3	4,6	-	-	0,6
Óleo Diesel	0,1	1,3	0,5	0,7	11,4	0,2	0,2	25,0
Querosene	-	-	-	0,1	-	-	-	4,3
Coque	1,9	0,4	-	-	-	-	-	-
Outros Refino de Petróleo	0,5	0,9	1,3	5,5	-	-	-	3,5
Álcool	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Urânio	-	-	-	-	1,4	-	-	-
Energia Hidráulica Pública	-	-	-	-	-	61,3	-	-
Energia Hidráulica Auto Geração	0,3	3,2	-	-	-	-	-	-
Energia Térmica Pública	-	-	-	-	-	14,6	-	-
Energia Térmica Auto Geração	0,9	0,1	-	-	-	-	-	-
Energia Eólica Pública	-	-	-	-	-	-	-	-
Distribuição de energia elétrica	4,6	8,5	1,6	2,8	11,1	4,0	3,5	1,2
Distribuição de gás natural	1,5	2,1	0,2	0,4	10,4	0,1	0,1	0,1
Total dos insumos energéticos	20,8	18,2	4,1	10,0	47,9	81,1	83,8	36,8
Demais insumos intermediários	79,2	81,8	95,9	90,0	52,1	18,9	16,2	63,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

**Tabela 3:** Características dos decis de renda no Brasil pela POF 2002-2003

Decil	Número de Observações	População correspondente	Renda Média (R\$)	Desvio Padrão (R\$)	Mínimo (R\$)	Máximo (R\$)
1	6,730	4.877.783	210,71	68,96	4,00	305,00
2	6,158	4.836.322	379,11	43,59	306,00	453,00
3	5,606	4.869.806	523,81	40,63	454,00	596,00
4	5,190	4.846.089	674,80	47,17	597,00	758,00
5	4,921	4.843.652	859,31	60,67	759,00	970,00
6	4,390	4.861.636	1.103,00	80,07	971,00	1.246,00
7	4,225	4.847.143	1.431,09	115,03	1.247,00	1.652,00
8	3,972	4.845.858	1.954,89	195,15	1.653,00	2.341,00
9	3,687	4.853.007	3.000,83	441,40	2.342,00	3.878,00
10	3,689	4.853.342	8.000,76	6.617,35	3.881,00	385.250,00

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da POF 2002/2003 (IBGE, 2012)

genas para o caso do uso de combustíveis fósseis, que, por exemplo, permitam que a queima de carvão libere menos CO<sub>2</sub> por tonelada utilizada<sup>6</sup>.

A Tabela 4 resume a base de dados de emissões do modelo BeGreen, construída a partir das informações do Balanço Energético e do Inventário Brasileiro de Emissões, indicando um volume de 882018 Gg CO<sub>2-e</sub><sup>7</sup> em 2005<sup>8</sup>. 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.

#### 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. Esta tem sido uma política efetivamente discutida no âmbito das propostas de mitigação de GEE no caso brasileiro e, portanto, merece atenção.

Essa simulação tem como motivação as estimativas e perspectivas contidas no Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 2010), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, do Ministério 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 (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 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. Essas 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. Nesse 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 essa 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

<sup>6</sup>Os setores, por outro lado, podem reduzir suas emissões pela substituição de insumos energéticos, via mudança de preços relativos.

<sup>7</sup>Coefficientes de emissão foram necessários para a transformação das emissões em uma unidade comum, CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2-e</sub>), obtidos do Relatório Stern (Stern 2007), a partir das estimativas de Global Warming Potential (GWP).

<sup>8</sup>As emissões do banco de dados serão atualizadas em um procedimento de simulação de forma a incorporar as estimativas mais recentes até 2012 (Brasil 2014)

**Tabela 4:** Emissões associadas ao uso de combustíveis e processo produtivo no Brasil (ano base 2005)

Uso de Combustíveis	Emissão (Gg CO <sub>2</sub> -e)	Part.	Atividade produtiva (processos produtivos)	Emissão (Gg CO <sub>2</sub> -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%
<b>Emissões pelo Uso de Combustíveis</b>	<b>330344</b>	<b>100%</b>	<b>Emissões por Atividade Produtiva</b>	<b>551674</b>	<b>100%</b>

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 5 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% em termos de eficiência no setor de Agricultura, silvicultura e exploração florestal como decorrência da maior de conservação de energia dos produtos: Energia hidroelétrica de autogeração, Energia térmica de autogeração e Distribuição de energia elétrica.

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. Nesse caso, o aumento projetado da eficiência energética sobre a Agricultura, por exemplo, é de 11,58% entre 2011 e 2030.

Um ponto importante na questão da eficiência está relacionado ao custo inerente à adoção de tecnologias mais eficientes. O PNE traz estimativas de custos médios da adoção dessas tecnologias, entretanto, a modelagem adequada desse efeito implicaria termos informações específicas dos setores e dos bens energéticos para essas novas tecnologias. No modelo EGC, esse tipo de efeito não pode ser produzido endogenamente. Em virtude dessas dificuldades, optamos por desconsiderar os custos associados a eficiência energética, o que indica que estamos estimando um limite superior de impactos econômicos da eficiência energética. Visto de outra forma, podemos considerar que as mudanças de eficiência já são produzidas ou incentivadas por políticas vigentes (por exemplo, PBE, PROCEL, CONPET, etc.) e, portanto, fazem parte das estratégias e dos custos correntes dos setores, não implicando custos adicionais expressivos.

Simulamos três cenários para a política de eficiência energética: cenários A, B e C. O Cenário B corresponde ao cenário no qual são aplicados choques de aumento da eficiência em conformidade com as projeções da EPE. Os cenários A e C representam hipóteses alternativas quanto ao aumento da eficiência energética: metade do projetado pela EPE (A) ou duas vezes maior do que estas (C). O cenário A, mais conservador, projeta um aumento de eficiência acumulado até 2030 de 4,1% para energia elétrica e 5,5% para não elétricas (ou um aumento médio anual de 0,20% e 0,27%, respectivamente). Já ganhos de eficiência duas vezes mais intensos às projeções da EPE, equivalem a um aumento acumulado de 17,1% para energia elétrica e de 22,9% para não elétricas (aumento médio anual de 0,79% e 1,04%, 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 (Empresa Brasileira de Pesquisa Energética 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 qua-

**Tabela 5:** Evolução de Indicadores de Conservação Energética por Setor (Energias Elétricas e Não-Elétricas)\*

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

(var. % acumulada)

**Tabela 5:** Evolução de Indicadores de Conservação Energética por Setor (Energias Elétricas e Não-Elétricas)\*  
(continuação)

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
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

(var. % acumulada)

tro vezes e meia maior para a conservação de energia em combustíveis (fontes não elétricas) do que em energia elétrica (Confederação Nacional da Indústria 2009). Dessa forma, busca-se capturar o impacto sobre as emissões, por exemplo, de cenários de ganhos de eficiência energética, em consonância com 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 o choque de mudança tecnológica no uso energético.

O modelo é walrasiano e, portanto, determina preços relativos, no qual a taxa de câmbio nominal é o numerário. As principais variáveis macroeconômicas (consumo das famílias, investimento, exportações, importações) são endógenas no cenário de política, com exceção dos gastos do governo. Em modelos dinâmicos, aumentos de investimento provocam reduções nas taxas de retorno esperadas, via aumento do estoque de capital, reduzindo posteriormente tais investimentos até a seu estado estacionário (equilíbrio). No mercado de trabalho, assume-se que o salário real responde defasadamente aos aumentos de emprego até quando o equilíbrio no mercado de trabalho for restabelecido. 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 cenário base representa qual seria a trajetória da economia sem políticas energéticas. A evolução da economia no período 2006-2014 é baseada em um cenário observado de crescimento do PIB, consumo das famílias, governo, investimento e exportações, além de pressuposições exógenas sobre o aumento de produtividade da terra. O cenário base futuro (2015-30) está ancorado em um crescimento médio da economia brasileira de 3% ao ano até 2030. Além disso, foram incorporados dados mais recentes das Estimativas anuais de emissões de Gases de Efeito Estufa (Brasil 2014) para as variações no período 2005-2012. Assim, o modelo adota que nesse período as emissões de combustíveis e atividade cresceram de acordo com as estimativas oficiais. Nesse período, verificou-se um aumento das emissões em 19,0% (contabilizados os setores de agropecuária, energia, processos industriais e resíduos tratados no modelo). A tabela 6, mostra as taxas de atualização das emissões até 2012, conforme as estimativas mais recentes.

## **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. Esse efeito sobre preço pode ter consequências diretas

**Tabela 6:** Taxas de variação das emissões entre 2005 e 2012 por setor

Setor	Taxa de var. % nas emissões 2005-2012
Agropecuária	7,4
Energia	35,9
Processos industriais	9,5
Cimento	76,4
Cal e calcário	83
Química	-66,3
Ferro-Gusa e Aço	- 4,3
Alumínio	- 7,3
Resíduos	18,8

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. 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 7 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 1,62% acumulado em 2030, atrelado a uma queda das emissões totais de 2,1% (Cenário B). No caso em que se considera que a política não alcance a projeção de eficiência esperada (Cenário A), o impacto sobre o PIB seria de 0,85% e uma redução de emissões de 1,1%. No cenário mais otimista (Cenário C), o PIB cresceria 2,21% em relação ao cenário base com uma queda de emissões de 4,3% acumulada em 2030. Percebe-se, contudo, que à medida que a melhoria de eficiência se intensifica, o efeito sobre o PIB é positivo, mas declinante, indicando que a economia opera com retornos marginais decrescentes nos fatores. Por outro lado, as emissões se reduzem linearmente devido à hipótese dos choques em cada cenário e aos efeitos indiretos de atividade. Os resultados indicam que o coeficiente de emissões/PIB cairia entre -1,9% a -6,4% como resultado dos cenários simulados.

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 em uma menor demanda por fatores primários para os setores mais atingidos pela política de eficiência. A menor necessidade de insumos energéticos torna os produtos mais baratos, que por sua vez permitem

**Tabela 7:** Impactos do aumento de eficiência energética sobre a economia, decorrentes de cenários alternativos de ganhos de eficiência – 2016-2030 (desvio acumulado em relação ao cenário base em 2030)

Variáveis Macroeconômicas	Ganhos de eficiência energética		
	Cenário A*	Cenário B	Cenário C
PIB real	0,85	1,62	2,21
Consumo das Famílias	0,97	1,89	2,43
Investimento	0,09	0,17	0,24
Exportações	0,84	1,59	2,47
Importações	-0,55	-1,05	-1,9
Emprego	0,64	1,22	1,72
Salário real	0,5	0,9	1,2
Pagamento aos fatores primários			
Rentabilidade do capital	0,1	0,2	0,4
Rentabilidade da terra	2,4	4,6	7,1
Redução total das emissões	-1,1	-2,1	-4,3
Coefficiente de emissões (Emissões/PIB)	-1,9	-3,7	-6,4

um aumento na demanda de bens intermediários e finais e uma realocação dos fatores primários dos setores produtores de energia para os setores com crescimento da demanda (os resultados setoriais serão analisados na próxima seção). O efeito líquido nos mercados de fatores é o aumento agregado da remuneração dos fatores produtivos e do uso de capital e trabalho. Do lado da absorção, há um ajuste no saldo comercial (superávit), crescimento do consumo das famílias e do investimento.

A queda de preços, sobretudo sobre os bens energéticos, repercute sobre o consumo agregado das famílias, apontando, conforme a literatura, um efeito “*rebound*”, no qual ganhos de eficiência e consequente redução de preços, têm um efeito de estímulo ao consumo, inclusive dos próprios bens energéticos.

A queda dos preços domésticos também tende a beneficiar as exportações, dado que a redução dos custos de produção torna as exportações mais competitivas no mercado internacional, e sob curvas de demanda negativamente relacionadas aos custos as exportações se elevam<sup>9</sup>. No mercado doméstico, as importações tornam-se relativamente mais caras, o que gera um efeito de substituição em direção aos bens domésticos.

## 5.2 Resultados setoriais

Uma apreciação mais embasada dos resultados macroeconômicos passa pela análise setorial. Os resultados setoriais são uma função tanto das intensidades energéticas dos setores (Tabelas 1 e 2), choques de eficiência (Tabela 5), quanto das possibilidades de substituição dadas pela estrutura teórica do modelo. A Tabela 8 retrata os impactos sobre o nível de atividade setorial decorrentes dos cenários alternativos de ganhos de eficiência.

Os números indicam a realocação de fatores entre os setores que se beneficiam da eficiência energética elevando seu nível de produção, conforme

<sup>9</sup>Cabe ressaltar que esse resultado desconsidera ganhos de eficiência energética no resto do mundo, que poderiam, de certa forma, anular o ganho de competitividade do país, limitando os efeitos sobre a balança comercial.

**Tabela 8:** Impactos no nível de atividade setorial decorrentes de cenários alternativos de ganhos de eficiência – 2016 a 2030 (desvio % acumulado em relação ao cenário de referência em 2030)

Setores	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,37	0,69	0,98
Pecuária e pesca	0,58	1,11	1,65
Petróleo e gás natural	-0,39	-0,77	-1,75
Minério de ferro	0,11	0,20	0,28
Outros da indústria extrativa	0,47	0,90	1,33
Alimentos e bebidas	0,49	0,93	1,37
Produtos do fumo	0,43	0,80	1,14
Têxteis	0,50	0,94	1,38
Artigos do vestuário e acessórios	0,53	1,01	1,50
Artefatos de couro e calçados	0,60	1,14	1,69
Produtos de madeira - exclusive móveis	0,75	1,42	2,08
Celulose e produtos de papel	0,77	1,46	2,26
Jornais, revistas, discos	0,49	0,93	1,35
Refino de petróleo e coque	-1,37	-2,69	-5,29
Álcool	-0,02	-0,04	-0,08
Produtos químicos	0,53	1,00	1,49
Fabricação de resina e elastômeros	0,44	0,83	1,21
Produtos farmacêuticos	0,44	0,83	1,25
Defensivos agrícolas	0,70	1,32	1,99
Perfumaria, higiene e limpeza	0,54	1,02	1,58
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,48	0,90	1,37
Produtos e preparados químicos diversos	0,56	1,05	1,55
Artigos de borracha e plástico	0,63	1,19	1,78
Cimento	0,41	0,77	1,20
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,77	1,44	2,24
Fabricação de aço e derivados	0,49	0,91	1,38
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,49	0,92	1,38
Produtos de metal	0,37	0,69	0,95
Máquinas e equipamentos	0,65	1,22	1,77
Elerodomésticos	0,64	1,21	1,94
Máquinas para escritório e eq. de informática	0,24	0,44	0,67
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,22	0,40	0,56
Material eletrônico e eq. de comunicações	0,45	0,85	1,33
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar	0,31	0,59	0,84
Automóveis, camionetas e utilitários	0,46	0,86	1,31
Caminhões e ônibus	0,42	0,78	1,15
Peças e acessórios para veículos automotores	0,63	1,19	1,76
Outros equipamentos de transporte	0,72	1,36	2,08
Móveis e produtos das indústrias diversas	0,55	1,04	1,56
Geração de eletricidade	-0,33	-0,67	-1,46
Transmissão e distribuição de eletricidade	-0,63	-1,20	-2,31
Distribuição de gás natural	-0,03	-0,06	-0,15

**Tabela 8:** Impactos no nível de atividade setorial decorrentes de cenários alternativos de ganhos de eficiência – 2016 a 2030 (desvio % acumulado em relação ao cenário de referência em 2030) (continuação)

Setores	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Água, esgoto e limpeza urbana	0,20	0,37	0,53
Construção	0,12	0,22	0,31
Comércio	0,32	0,60	0,80
Transporte, armazenagem e correio	0,92	1,75	2,78
Serviços de informação	0,35	0,67	0,93
Intermediação financeira e seguros	0,29	0,56	0,77
Serviços imobiliários e aluguel	0,01	0,02	0,03
Serviços de manutenção e reparação	0,50	0,96	1,38
Serviços de alojamento e alimentação	0,59	1,12	1,63
Serviços prestados às empresas	0,38	0,73	0,97
Educação mercantil	0,85	1,62	2,41
Saúde mercantil	0,70	1,33	2,00
Outros serviços	0,81	1,55	2,34
Educação pública	0,00	0,00	0,00
Saúde pública	0,00	-0,01	-0,01
Administração pública e seguridade social	0,01	0,02	0,02

apontado nos resultados macroeconômicos. Os setores produtores de bens energéticos apresentam resultados negativos devido à menor necessidade de uso na economia. Assim, para os produtores de energia, incluindo geração e transmissão de eletricidade, o efeito negativo poupador de insumos energéticos é maior que o efeito positivo sobre a atividade econômica, representado pelo aumento do PIB.

Os setores intensivos no uso de combustíveis, como Transportes e os afetados indiretamente (Equipamentos de Transporte, Automóveis), ao lado de setores intensivos no uso de energia elétrica, como Celulose e Papel são os mais beneficiados. No setor Transportes, por exemplo, há um uso intensivo de óleo diesel, que nas simulações possuem choques relevantes de eficiência e ajudam a explicar o resultado do setor.

### 5.3 Resultados das Emissões por combustíveis

Os resultados por combustíveis, por seu turno, possibilitam analisar as reduções de emissões mais relevantes por fontes, decorrentes da política de eficiência energética. A tabela 9 reporta as variações acumuladas em 2030 e a sua contribuição para a redução total de emissões, em cada cenário simulado.

Carvão Metalúrgico, Carvão Vegetal e Carvão Mineral, nessa ordem, respondem pelas maiores variações acumuladas em 2030, embora em termos da contribuição para o resultado final de redução de emissões - que leva em conta a participação das emissões de cada fonte - Carvão Metalúrgico, Óleo Diesel, Óleo Combustível e Gás Natural são as fontes de maior destaque. O resultado positivo de Gasolina, por sua vez, decorre do aumento do consumo do combustível pelas famílias, dado o efeito “*rebound*” discutido, embora em termos de contribuição não altera sobremaneira o resultado de queda das emissões. Por outro lado, a parcela das emissões de “Atividade” (Processos Produtivos) anula em parte o esforço de redução de emissões dos ganhos de eficiência,

**Tabela 9:** 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)					
	Cenário A		Cenário B		Cenário C	
	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição	Var % acumulada de emissões	Contribuição
Carvão Metalúrgico	-5,5	32,35%	-10,7	31,87%	-20,6	29,09%
Lenha	-2,7	9,37%	- 5,3	9,30%	-10,8	9,06%
Carvão Vegetal	-5,5	2,85%	-10,5	2,76%	-19,8	2,46%
Carvão Mineral	-4,9	3,88%	- 9,6	3,81%	-18,5	3,47%
Bagaço de Cana	-1,7	5,34%	- 3,4	5,30%	- 6,9	5,11%
Gas Liquefeito de Petróleo	-0,5	1,14%	- 1,1	1,14%	- 2,1	1,08%
Gasolina	0,4	- 1,59%	0,6	- 1,37%	0,9	- 0,95%
Óleo Combustível	-4,2	11,21%	- 8,3	11,00%	-16,0	10,05%
Óleo Diesel	-2,6	31,33%	- 5,2	31,14%	-10,3	29,30%
Querosene	-3,1	1,85%	- 6,1	1,84%	-12,2	1,76%
Coque	-3,9	5,37%	- 7,7	5,30%	-14,9	4,87%
Outros Refinos de Petróleo	-2,9	9,08%	- 5,6	8,77%	-10,5	7,82%
Álcool	-2,0	4,71%	- 4,2	4,89%	- 9,2	5,10%
Gás Natural	-2,1	10,20%	- 4,1	10,15%	- 8,2	9,53%
Processos produtivos	0,5	- 27,07%	0,9	- 25,91%	1,3	- 17,75%
Redução total das emissões	-1,1	100%	- 2,1	100%	- 4,3	100%

dada sua variação positiva, tanto em razão do fato de não incidir 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), quanto pelo aumento do nível de atividade da economia com os ganhos que repercutem positivamente sobre esta fonte de emissão.

#### 5.4 Resultados por grupos de famílias

Um resultado bastante discutido na literatura é a incidência distributiva das políticas climáticas. O modelo BeGreen foi especialmente especificado para a análise da incidência de políticas energéticas 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, nos quais H1 refere-se ao primeiro decil (famílias de mais baixa renda), ao passo que em H10 estão as famílias na faixa de maior renda. A Tabela 10 retrata a participação das famílias no consumo, de acordo com o banco de dados do modelo<sup>10</sup>.

É notável a participação majoritária dos maiores decis de renda no consumo das famílias. Juntos, os dois últimos decis (H9 e H10) respondem por mais da metade do valor de compras das famílias (52%). Essa participação no consumo pode ser decomposta pelos bens energéticos do modelo, de forma a apontar o padrão dos gastos de cada decil.

**Tabela 10:** Participação das famílias no consumo e renda média, por decil de renda – 2005

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

Como pode ser visto na tabela 11, 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%.

<sup>10</sup>É importante destacar, que as simulações foram realizadas com parâmetro de FRISCH constante para todas as famílias (-2,48). Esse parâmetro mede a razão entre gastos de subsistência e gastos de não subsistência (luxo) por produto para as famílias. Espera-se, pois, que tal razão seja maior para famílias pobres do que para famílias ricas, como é utilizado na literatura (Frisch 1959).

**Tabela 11:** 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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Serviços	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Demais Insumos Intermediários	94,8	95,0	95,1	94,9	94,9	94,8	94,2	93,3	92,4	90,7
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

A tabela 12 mostra os impactos sobre o consumo das famílias, como desvios acumulados em relação ao cenário base em 2030. Para o caso da política de aumento da eficiência energética, os resultados sugerem que a política tem efeitos positivos mais intensos sobre o consumo das classes de renda mais altas vis-à-vis os efeitos sobre as famílias de baixa renda. Tal resultado é explicado pela composição das compras das famílias em cada decil de renda, pelo aumento do emprego e salário real, que tem impactos sobre a renda.

Em linhas gerais, 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 (Tabela 13). Nota-se a expressiva redução nos preços de bens energéticos, também de forma diferenciada entre combustíveis e eletricidade. A redução mais acentuada dos preços dos combustíveis explica o crescimento mais intenso do consumo das famílias de mais alta renda, dado que estas têm um gasto proporcionalmente maior em combustíveis. Por outro lado, os decis mais baixos de renda se beneficiam com menor intensidade já que gastam uma proporção maior de sua renda com bens que apresentaram quedas menos expressivas de preços, tais como energia elétrica e alimentos.

Um resultado importante a se ressaltar no tocante a impactos distributivos é o indicador que mede a variação do coeficiente de GINI (Tabela 12). 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 0,1% no índice em 2030, indicando leve regressividade, embora quase não modifique o coeficiente.

**Tabela 12:** Impactos sobre o consumo das famílias (var. % - desvio acumulado em relação ao cenário base)

Famílias	Simulações de aumento da eficiência energética*		
	Cenário A	Cenário B	Cenário C
	Consumo	Consumo	Consumo
H01	0,47	0,90	1,29
H02	0,52	1,00	1,42
H03	0,49	0,95	1,34
H04	0,50	0,97	1,36
H05	0,51	0,99	1,38
H06	0,51	0,99	1,36
H07	0,54	1,05	1,41
H08	0,58	1,12	1,46
H09	0,62	1,21	1,53
H10	0,69	1,34	1,61
Variação Coeficiente de GINI	0,1%	0,1%	0,1%

\* Desvio % acumulado em 2030

## 6 Conclusões

O objetivo deste artigo foi estimar o impacto de 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 emis-

**Tabela 13:** 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 <sup>♦</sup>		
	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Lenha	- 9,3	-17,5	-21,6
Carvão vegetal	- 8,5	-16,3	-20,5
Bovinos e outros animais vivos	- 1,3	- 2,5	- 3,5
Abate e preparação de produtos de carne	- 0,8	- 1,5	- 2,1
Carne suína fresca, congelada ou refrigerada	- 0,8	- 1,5	- 2,1
Carne ave fresca, congelada ou refrigerada	- 0,8	- 1,4	- 2,1
Áçucar	- 0,8	- 1,5	- 2,2
Óleo de soja refinado	- 0,8	- 1,5	- 2,1
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	- 0,8	- 1,6	- 2,2
Arroz beneficiado e produtos derivados	- 0,8	- 1,4	- 1,9
Carfé torrado e moído	- 0,8	- 1,5	- 2,1
Artigos do vestuário	- 0,7	- 1,3	- 1,7
GLP	- 4,5	- 8,7	- 5,0
Gasolina	- 6,8	-12,8	-12,6
Óleo diesel	- 8,2	-15,5	-18,5
Querosene	- 5,8	-11,1	-10,1
Outros refino de petróleo	- 1,7	- 3,1	- 5,3
Álcool	- 8,1	-15,1	-16,9
Energia elétrica	- 6,3	-12,0	-14,5
Gás natural	-11,0	-20,4	-27,2
Transporte de passageiro	- 0,9	- 1,7	- 2,6
Serviços imobiliários e aluguel	- 0,2	- 0,3	- 0,4
Serviços de informação	- 0,4	- 0,8	- 1,0
Instituições financeiras e seguros	- 0,3	- 0,6	- 0,5
Serviços prestados às empresas	- 0,6	- 1,0	- 1,3
Educação mercantil	- 1,1	- 2,0	- 2,7
Saúde mercantil	- 0,9	- 1,7	- 2,4
Serviços prestados às famílias	- 1,1	- 1,3	- 2,9

♦ Var. % acumulada em 2030

sões 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, projetamos os impactos potenciais da melhoria de eficiência energética sobre a economia brasileira. Para isso, empregamos um modelo de equilíbrio geral computável (EGC), denominado BeGreen (Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model). O modelo representa o estado-da-arte em EGC e é inovador em vários 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, e na especificação de famílias diferenciadas pela renda (o que permite obter impactos distributivos de políticas). 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 autogeração.

Os resultados simulados da política de melhoria da eficiência energética, testada em 3 níveis diferentes, mostram que a economia colhe ganhos significativos em termos de crescimento do PIB e redução de emissões. Os resultados

projetam que o coeficiente de emissões/PIB cairia entre  $-2\%$  a  $-6\%$  como resultado das políticas de eficiência energética.

Não obstante os potenciais efeitos 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 essas 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.

Deve-se ressaltar que os resultados devem ser lidos como limite superior dos possíveis ganhos de eficiência energética, dado que, por dificuldades de mensuração e incerteza, custos associados a políticas de eficiência ou investimento necessário a setores ou famílias não são explicitamente considerados nas simulações. Esses desenvolvimentos serão estudados em trabalhos futuros. Além disso, a metodologia opera com retornos constantes de escala e não apresenta mecanismos endógenos de mudança tecnológica. 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 ( $\text{CO}_2$  equivalente). Além disso, não são considerados os benefícios que a mitigação de gases de efeito estufa poderiam implicar devido à dificuldade e à incerteza envolvidas na mensuração dos possíveis impactos que seriam causados pelas mudanças climáticas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCTI) pelo apoio financeiro. Os autores também agradecem aos pareceristas pelos comentários e sugestões. Os erros e omissões são de responsabilidade dos autores.

### Referências Bibliográficas

- Abare (1996), The megabare model: Interim documentation, Technical report, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, Canberra. 71 p.
- Adams, P. D., Horridge, M. & Parmenter, B. R. (2000), ‘MMRF-GREEN: A Dynamic, Multi-sectoral, Multi-regional Model of Australia’, *Centre of Policy Studies, Impact Project*.
- Aldy, J. E. and Stavins, R. N. (2012), ‘Climate negotiators create an opportunity for scholars’, *Science* **337**(6098), 1043–1044.
- Azar, C. (2010), The cost of reducing  $\text{CO}_2$  emissions, in R. A. M. M. D. . K.-D. K. Schneider, S. H., ed., ‘Climate change science and policy’, Vol. 1, Island Press.

Bosetti, V. & Buchner, B. (2009), 'Data envelopment analysis of different climate policy scenarios', *Ecological Economics* **68**, 1340–1354.

Brasil (2014), Estimativas Anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, Technical report, Ministério da Ciência e Tecnologia.

**URL:** Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0235/235580.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf)

Brookes, L. G. (1990), 'The Greenhouse effect: the fallacies in energy efficiency solution', *Energy Policy* **18**(2), 199–201.

Clarke, L., Edmonds, J., Krey, V., Richels, R., Rose, S. & Tavoni, M. (2009), 'International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios', *Energy Economics* **31**, 64–81.

Confederação Nacional da Indústria (2009), Oportunidades de eficiência energética para a indústria, Technical report, CNI: Brasília.

Dixon, P. B., Parmenter, B. R., Sutton, J. M. & Vincent, D. P. (1982), ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy, Technical report, Amsterdam: North-Holland.

Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (2007), Plano nacional de energia 2030, Technical report, Brasília: MME/EPE.

Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (2010), Balanço energético nacional 2010 – ano base: 2011, Technical report, Rio de Janeiro: EPE.

Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (2011), Plano decenal de expansão de energia 2020, Technical report, Brasília: MME/EPE.

**URL:** <http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>

Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (2012), Balanço energético nacional 2012 - ano base: 2011, Technical report, Empresa Brasileira de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro.

Feijo, F. T. & Porto, J. (2009), 'Protocolo de Quioto e o Bem Estar Econômico no Brasil: Uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável', *Análise Econômica* **27**(51), 127–154.

Ferreira Filho, J. B. S. & Rocha, M. T. (2007), Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, in 'CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL', Londrina.

Frankel, J. (2008), '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.

Frisch, R. (1959), 'Complete scheme for computing all direct and cross demand elasticities in a model with many sectors', *Econometrica* **27**(2), 177–196.

Geller, H. & Attali, S. (2005), 'The Experience with Energy Efficiency Policies and Programmes in IEA Countries: Learning from the Critics', Paris: International Energy Agency.

- Gillingham et al. (2013), 'Energy policy: The rebound effect is overplayed', *Nature* **493**(7433), 475–476.
- Gouvello, C. (2010), 'Estudo de baixo carbono para o Brasil', Brasília: Banco Mundial.
- Greening, L., Greene, D. L. & Difiglio, C. (2000), 'Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey', *Energy Policy* **28**(6), 389–401.
- Guilhoto, J. J., Lopes, R. L. & Seroa da Motta, R. (2002), Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira, Texto para discussão 892, IPEA.
- Gurgel, A. C. (2012), Impactos da economia mundial de baixo carbono sobre o Brasil, in 'Anais da ANPEC'.
- Hanoch, G. (1971), 'CRESH production functions', *Econometrica* **39**(5), 695–712.
- Hilgemberg, E. M. & Guilhoto, J. J. M. (2006), 'Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto', *Nova Economia* **16**(1), 49–99.
- Hinchy, M. & Hanslow, K. (1996), 'The MEGABARE model: interim documentation', Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics.
- Hoffmann, U. (2009), Promoting poles of clean growth to foster the transition to a more sustainable economy, Unctad trade and environment review, United Nations.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2015), Taxas de desmatamento anual (km<sup>2</sup>/ano) - 1988 a 2015, Technical report, INPE. Acesso em: 28/09/2016.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), 'Climate change 2007: The physical science basis - summary for policymakers'.  
**URL:** <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
- Jorgenson, D. W. & Wilcoxon, P. (1993), 'Reducing US carbon dioxide emissions: an assessment of different instruments', *Journal of Policy Modeling* **15**(5-6), 491–520.
- Khazzoom, D. J. (1980), 'Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances', *The energy journal* **1**(1), 21–40.
- Klepper, G. (2011), 'The future of the European Emission Trading System and the Clean Development Mechanism in a post-Kyoto world', *Energy Economics* **33**(4), 687–698.
- Lima, E. M. C. (2011), Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira, Dissertação (mestrado em economia aplicada), Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. 151p.
- Linares, P. & Labandeira, X. (2010), 'Energy efficiency: Economics and policy', *Journal of Economic Surveys* **24**(3), 573–592.

Lopes, R. L. (2003), Efeitos de uma restrição na emissão de CO<sub>2</sub> na economia brasileira, PhD thesis, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Magalhães, S. A. (2013), Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa, PhD thesis, Departamento de Ciências Econômicas/Cedeplar, UFMG, Belo Horizonte.

Manne, A. S. (2005), General equilibrium modeling for global climate change, in C. U. Press, ed., 'Frontiers in Applied General Equilibrium Modeling', Kehoe, T. J. and Srinivasan, T. N. and Whalley, J., New York, pp. 255–276.

Margulis, S. & Dubeux, C. B. S. (2010), *Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades*, IBEP Gráfica, São Paulo.

McDougall, R. (1993), Energy taxes and greenhouse gas emissions in Australia, Technical Report g-104, Centre of Policy Studies/IMPACT, Centre: Monash University.

Metcalf, G. & Weisbach, D. (2010), 'Linking policies when tastes differ: Global climate policy in a heterogeneous world', *Review of Environmental Economics and Policy*.

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

Olmstead, S. M. & Stavins, R. N. (2010), Three key elements of post-2012 international climate policy architecture, Working papers series rwp10-030, HKS Faculty Research.

Patterson, M. (1996), 'What is Energy Efficiency? – Concepts, Indicators and Methodological Issues', *Energy Policy* 24(5), 377–390.

Peter, W. W., Horridge, M., Meguer, G. A., Navqui, F. & Parmenter, B. R. (1996), The theoretical structure of monash-mrf, Preliminary working paper OP-85, Center of Policy Studies. Acesso em: 12 jul. 2010.

Rocha, M. T. (2003), Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT, PhD thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba.

Rong, F. (2010), 'Understanding developing country stances on post-2012 climate change negotiations: Comparative analysis of Brazil, China, India, Mexico, and South Africa', *Energy Policy* 38(8), 4582–4591.

Rose, A. (2009), *The Economics of Climate Change Policy: International, National and Regional Mitigation Strategies*, Edward Elgar, Massachusetts.

Silva, J. G. & Gurgel, A. C. (2012), 'Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil', *Pesquisa e Planejamento Econômico* 42(1), 93–135.

Springer, U. (2003), 'The market for tradable ghg permits under the kyoto protocol: a survey of model studies', *Energy Economics* 25(5), 527–551.

Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change – the Stern Review*, revisited edn, Cambridge University Press, Cambridge.

Tourinho, O. A. F., Da Motta, R. S. & Alves, Y. L. B. (2003), Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral, Texto para discussão n. 976 Rio de Janeiro, IPEA.

**URL:** Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td\\_0976.pdf](http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf)>

Viguier, L. & Babiker, M. Reilly, J. (2003), 'The costs of the Kyoto Protocol in the European Union', *Energy Policy* 31(5), 393–483.

Viola, E. (2009), Brazil in the global and regional politics climate, in 'Global Summit on Sustainable Development and Climate Change', New Delhi.

Watson, R. T. (2001), *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 University Press, Cambridge.

Weyant, J. (1993), 'Costs of reducing global carbon emissions', *Journal of Economics Perspectives* 7(4), 27–46.

Wing, I. S. (2004), Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis, Technical note n 6, The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

Zhang, Z. X. (2009), 'Multilateral trade measures in a post-2012 climate change regime? What can be taken from the Montreal Protocol and the WTO?', *Energy Policy* 37(12), 5105–5112.