



Confederação Nacional da Indústria

Prêmio CNI de Economia - 2014

Política industrial e os custos de redução de emissões de gases de efeito estufa

Categoria: Economia Industrial

Classificação: 1º Lugar

Edson Paulo Domingues (CEDEPLAR-UFMG)

Aline Souza Magalhães (CEDEPLAR-UFMG)

Terciane Sabadini Carvalho (CEDEPLAR-UFMG)

Política industrial e os custos de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa

RESUMO.....	2
1. Mitigação de emissões de GEE, política de mudança climática e política industrial no Brasil	3
2. Referências e alternativas de políticas de mitigação de emissões de GEE no Brasil	5
3. Metodologia	7
4. Simulações de políticas de mitigação de emissões de GEE na indústria.....	11
4.1. Impactos Setoriais das políticas de mitigação na indústria.....	14
4.2. Impactos das políticas de mitigação na indústria sobre os indicadores macroeconômicos	19
5. Conclusões	22
6. Referências bibliográficas	23

RESUMO

O Brasil tem se posicionado de maneira ativa nas negociações climáticas globais ao propor metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), inclusive para a indústria. O Plano Brasil Maior é a política de desenvolvimento industrial que possui, entre outras metas, uma indústria energeticamente mais eficiente e limpa, o que repercute na redução de emissões de GEE. Estas políticas podem ser melhor efetivadas se forem estimados os setores industriais mais sujeitos aos custos de redução de emissões decorrentes da imposição de tetos de emissões ou de um mercado de carbono, o que fazemos neste trabalho.

Política industrial e os custos de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa

1. Mitigação de emissões de GEE, política de mudança climática e política industrial no Brasil

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

A questão que se coloca atualmente não é mais se é certa ou incerta a mudança climática, mas sim como se precaver, quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado. A partir destas constatações, um conjunto de políticas internacionais (como o Protocolo de Quioto) e nacionais tem sido estabelecido. Políticas baseadas em mecanismos de mercado, como um “mercado de carbono” ou um “imposto de carbono”, são consideradas um meio eficiente, ou de menor custo, para que um país consiga diminuir ou pelo menos desacelerar suas emissões de GEE, e contribuir para a solução do problema das mudanças climáticas.

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 (ver OLMSTEAD e STAVINS, 2010; METCALF e WEISBACH, 2010; NORDHAUS, 2008; RONG, 2010; ZHANG, 2009; KLEPPER, 2011, FRANKEL, 2008). Questões comumente debatidas, e de fundamental interesse para países como o Brasil, são a efetividade e abrangência de um novo acordo.

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

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

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

Porém, não se deve esquecer o papel relevante que assume as emissões derivadas do uso de combustíveis e de processos produtivos. Essa importância é intensificada, inclusive para o Brasil, em razão das tendências de aumento das emissões do setor energético, de transporte (principalmente em relação ao uso do diesel), refino de petróleo e do setor industrial. Para 2030, por exemplo, as emissões projetadas do setor energético, excluindo combustíveis para transporte, são de um aumento de 97% ou mais do que 25% das emissões nacionais (GOUVELLO *et al.*, 2010, VIOLA, 2009). Algumas iniciativas, neste contexto, também já começam a surgir. Como parte do PNMC, por exemplo, em 2013, foram lançados Planos Setoriais de Mitigação de GEE para a Agricultura, Mineração, Siderurgia e a Indústria de Transformação como um todo, propondo metas e algumas medidas mitigatórias de combate ao aquecimento global.

Par e passo com a PNMC, o país procura implementar políticas de estímulos ao crescimento do setor industrial, que tem perdido participação e competitividade na economia brasileira. Não há obviamente uma preocupação de mitigação de GEE nas políticas industriais, que podem até aumentar emissões. Desde 2011 a política industrial está associada ao programa Brasil Maior¹. Dentre as diretrizes do programa, tem-se o aumento da eficiência produtiva de empresas nacionais, o incentivo a setores de bens de capital, o aproveitamento de oportunidades ambientais e de negócios na área de energia, a diversificação das exportações, entre outros. O plano apresenta metas ambiciosas, como ampliar a participação do investimento no PIB, elevar o gasto em P&D e aumentar a qualificação dos trabalhadores.

Está no âmbito do Brasil Maior um conjunto de metas de produção industrial mais limpa, que impliquem na redução do consumo de energia por unidade do PIB industrial. Esta meta, direta e indiretamente, vai no sentido de redução de emissões de GEE. Assim, há uma relação entre as duas políticas, Brasil Maior e PNMC. Entretanto, os mecanismos típicos de políticas de mitigação, como a precificação de carbono, podem atuar de forma contraproducente com os incentivos do Brasil Maior. O objetivo deste trabalho é verificar os custos ao setor industrial e ao investimento que uma eventual

¹ Vide www.brasilmaior.mdic.gov.br.

política de precificação de carbono causaria. Para tal, aplicamos um modelo de equilíbrio geral computável especialmente capacitado para a questão de precificação de carbono e demanda de energia, especialmente no setor industrial.

2. Referências e alternativas de políticas de mitigação de emissões de GEE no Brasil

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

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

Este estudo preenche uma lacuna na literatura brasileira, ao ser o primeiro a estimar a viabilidade e o custo de uma política de limite de emissões via um mercado nacional de carbono entre os setores industriais, a exemplo do que acontece na EU ETS. A incidência de políticas de restrição de emissões sobre as famílias também é uma lacuna na literatura. Como muitos outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as suas emissões.

Assim, diante destes cenários e do novo contexto pós-2012, mostra-se importante estudar as perspectivas e políticas para o desenvolvimento do mercado de carbono no Brasil. Tais alternativas podem configurar uma forma mais ativa do país contribuir para a mitigação do aquecimento global e liderar esta tendência entre países em desenvolvimento.

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, capacitado para a análise de políticas de redução de GEE sobre a economia. O modelo é inovador em vários aspectos, desde sua alta desagregação de produtos energéticos e setores, passando pela incorporação de mecanismos de dinâmica recursiva até, e notadamente, à sua especificação energética e ambiental diferenciada. Este artigo está organizado em quatro seções, além desta introdução: a primeira discute os aspectos econômicos das políticas de mitigação abordada por este artigo. A segunda detalha a metodologia desenvolvida para projetar os efeitos de políticas de mitigação sobre a economia brasileira. Os principais resultados das políticas de mitigação simuladas são reportados na seção 3. E por fim, tecem-se as conclusões finais. A mitigação, ou redução de emissões, de gases de estufa tem o caráter de um “bem público” global² cujos benefícios atingem a todos, ao passo que os custos são repassados àqueles que financiam a mitigação. Em contraste com outros bens públicos, como segurança pública, os benefícios da mitigação não são imediatos, e pelo contrário, só podem ser sentidos no futuro, o que compromete, muitas vezes, a implementação de políticas.

A literatura sobre os desdobramentos da efetivação de um mercado de carbono para o Brasil ainda é pequena³. Pelo que se conhece não há trabalhos que estimam os efeitos de um sistema de comércio de emissões nacional para setores e empresas. Impactos econômicos para o Brasil dentro de um cenário de comércio global de certificados, entretanto, podem ser encontrado no trabalho de Feijó e Porto Júnior (2008). Os resultados indicam que o custo em relação ao PIB para o Brasil é marginal variando entre -0,04% (cenário com inclusão de países em desenvolvimento que participam através de mecanismos de flexibilidade) a um ganho de 0,02% no PIB (cenário sem comércio de emissões). Estes cenários para o caso brasileiro geraram uma perspectiva de melhora no bem-estar econômico, calculado a partir da variação equivalente da renda, inclusive com um fluxo positivo de recursos para o Brasil gerado pela venda de permissões de emissões para outros países.

Tendo em vista a literatura, este trabalho é o primeiro a estimar os impactos de um mercado de carbono entre os setores industriais no Brasil, tendo por base, premissas do Plano Setorial de Mitigação e adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação, lançado em 2013 (MDIC, 2013).

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

³ A maioria dos trabalhos tem se concentrado em analisar os efeitos da imposição de taxas de carbono sobre a economia brasileira [ver Rocha (2003), Lopes (2003), Tourinho *et al.* (2003), Ferreira filho e Rocha (2007), Silva e Gurgel (2010), Margulis e Dubeux (2010), Gurgel (2012)].

3. Metodologia

A abordagem de equilíbrio geral para avaliar impactos de políticas ambientais vem sendo crescentemente utilizada. A razão para este interesse é natural. Uma política ambiental que visa reduzir significativamente as emissões de poluição pode ter efeitos significativos sobre preços, quantidades e também sobre a estrutura de uma economia. O comportamento de produtores e consumidores é afetado pelos efeitos das emissões de poluição na produção e consumo, e pela implementação de políticas de controle de poluição. Além disso, possibilita analisar impactos distributivos e sobre o bem-estar das políticas, a partir de diferentes instrumentos fiscais, como quotas, impostos, subsídios ou transferências de renda, cujos efeitos podem ser transmitidos através dos diversos mercados (WING, 2004, TOURINHO *et al.*, 2003).

Este trabalho, dessa forma, utiliza um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) que incorpora três importantes avanços: i) especificação energética detalhada, ii) um módulo ambiental que permite a projeção de políticas de redução de emissões, e iii) uma estrutura de dinâmica recursiva. O modelo foi denominado BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*) e está extensamente documentado em Magalhães (2013).

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

Estas características em modelos EGC (dinâmica recursiva e detalhada especificação energética e ambiental) são relativamente novas na literatura brasileira. O modelo BeGreen configura-se como o primeiro modelo EGC de dinâmica recursiva para a economia brasileira capacitado à análise ambiental e energética. O banco de dados inclui um elevado nível de desagregação de produtos e setores, possibilitando o tratamento detalhado de energia e emissões. Isso potencializa a capacidade do modelo para analisar os impactos de políticas de mitigação de gases de efeito estufa. O modelo é 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 na modelagem de setores intensivos em energia. O modelo traz como inovação para os modelos brasileiros a abordagem *bottom-up* conhecida como “Vetor Tecnológico” (MCDOUGALL, 1993; HINCHY e HANSLOW, 1996; ABARE, 1996) em setores particularmente intensivos em energia, onde as opções de substituição de insumos são relevantes para o propósito de simular políticas de mitigação de gases de efeito estufa. As diferentes tecnologias podem ser parcialmente substituídas (hipótese de substitubilidade imperfeita) de acordo com funções de produção CRESH (*Constant ratio of elasticities of substitution, homothetic*) (HANOCH, 1971; DIXON *et al.*, 1982). A especificação de vetores tecnológicos possibilita a introdução de uma restrição sobre a substituição entre os insumos, tornando-a consistente com as características de tecnologias específicas e conhecidas. Isto evita a possibilidade de obtenção de substituição ou combinação de insumos tecnicamente não factíveis. No modelo BeGreen, dois setores se enquadram nesta categoria por apresentarem tecnologias de produção bem caracterizadas: Geração de eletricidade e Fabricação de aço e derivados.

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

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

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

Além das especificações do núcleo do modelo, anteriormente relatadas, o modelo BeGreen tem acoplado um módulo ambiental inspirado no modelo MMRF-Green (ADAMS *et al.*, 2002). O modelo trata as emissões de forma detalhada, separando-as por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias), e atividade emissora. As emissões no modelo estão associadas ao uso de combustíveis (12 combustíveis no total) ou ao nível de atividade do setor, tais como emissões da agropecuária (cuja causa repousa na fermentação entérica de ruminantes, cultivo de arroz e uso de fertilizantes notadamente, que é fonte importante das emissões brasileiras). O modelo permite calcular endogenamente o preço do carbono ou custo de redução de emissões pela imposição de metas de emissões de GEE. No caso de simulações de “*cap-and-trade*”, o modelo possibilita que os setores comercializem entre si as permissões de emissões de acordo com as metas estipuladas. 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 ao seu uso, assim como as emissões de atividade em relação ao produto das indústrias relacionadas. Não há no modelo inovações tecnológicas endógenas, que, por exemplo, permitam que a queima de carvão libere menos CO₂ por tonelada utilizada⁴.

A Tabela 1 resume a base de dados de emissões do modelo BeGreen, que se baseiam nas informações do Balanço Energético e do Inventário Brasileiro de Emissões, indicando um volume de 882.018 Gg CO₂-e⁵ em 2005. As emissões derivadas do uso de combustíveis representam 37% do volume de emissões ao passo que os outros 63% estão associados à atividade produtiva dos setores. Os setores de Pecuária e Pesca, Agricultura e Outros representam as maiores fontes de emissão

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

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

nessa categoria, seguidas por importantes setores industriais, como Fabricação de Aço e Derivados, Petróleo e Gás, Cimento e Produtos Químicos, por exemplo.

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

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

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

O modelo é alimentado por um extenso conjunto de dados, que refletem a estrutura da economia brasileira em 2005. Estes dados são obtidos de diversas fontes: Contas Nacionais e Matriz de Insumo-Produto (IBGE), Comércio Externo (SECEX), Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF-IBGE). Alguns indicadores da base de dados podem ser calculados de forma a mostrar como as emissões de GEE se associam aos setores industriais. Para cada setor, foram somadas as emissões de atividade a emissões derivadas do uso de combustíveis. A Tabela 2 calcula a relação entre emissões e Valor Bruto da Produção (VBP), o Coeficiente de Exportações (Exportações/VBP) e o Multiplicador de Emissões. Este multiplicador deve ser interpretado como o aumento nas emissões na economia (em Gg) para cada aumento de R\$ 1 milhão na demanda (produção do setor), levando em conta tanto as emissões diretas como indiretas.

A Tabela 2 indica a estrutura heterogênea das emissões na indústria. Cimento possui elevado coeficiente direto de emissões e efeito multiplicador. Alimentos e Bebidas tem baixo coeficiente direto de emissões, mas possui elevado efeito multiplicador de emissões, devido aos insumos da agricultura e pecuária que adquire. Alguns setores com maior participação nas exportações têm elevado efeito multiplicador de emissões (Aço e Derivados, Minério de Ferro e Máquinas).

Tabela 2- Indicadores Setoriais e de Emissões de Gases de Efeito Estufa para setores industriais (Brasil, 2005)

Setores	Multiplicador de Emissões	Coefficiente Emissões/VBP	Exportações (em milhões de R\$)	Participação das Exportações	Exportações/VBP
Cimento	3,38	2,98	143	0%	0,02
Fabricação de Aço e Derivados	1,64	1,24	21.366	7%	0,29
Alimentos e Bebidas	1,39	0,03	43.198	14%	0,17
Outros da Extrativa	0,89	0,64	2.251	1%	0,19
Outros Produtos não-Metálicos	0,86	0,45	4.170	1%	0,16
Produtos Químicos	0,72	0,46	6.635	2%	0,11
Transporte, armazenagem e correios	0,63	0,47	5.394	2%	0,03
Metais não-Ferrosos	0,59	0,29	9.010	3%	0,36
Minério de Ferro	0,58	0,36	14.797	5%	0,63
Produtos do Fumo	0,57	0,01	3.926	1%	0,41
Álcool	0,51	0,03	1.416	0%	0,12
Serviços de Alojamento e Alimentação	0,51	0,01	9.491	3%	0,14
Elerodomésticos	0,50	0,05	1.224	0%	0,13
Máquinas, Equipamentos e Manutenção	0,49	0,09	15.202	5%	0,25
Produtos de Metal	0,49	0,06	2.229	1%	0,04
Petróleo e Gás	0,48	0,27	9.974	3%	0,14
Peças para Veículos Automotores	0,46	0,04	11.219	4%	0,20
Resina e Elastano	0,46	0,07	4.067	1%	0,17
Refino de Petróleo	0,46	0,14	11.689	4%	0,10
Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica	0,45	0,01	5	0%	0,00
Celulose e Papel	0,43	0,12	7.907	3%	0,21
Produtos de Madeira	0,38	0,07	6.636	2%	0,34
Couro e Calçados	0,37	0,02	6.328	2%	0,27
Automóveis e Utilitários	0,35	0,02	14.748	5%	0,28
Outros Equipamentos de Transporte	0,35	0,06	11.383	4%	0,46
Material Elétrico	0,34	0,06	4.416	1%	0,14
Perfumaria e Outros	0,34	0,02	1.055	0%	0,06
Borracha e Plástico	0,34	0,07	4.281	1%	0,09
Tintas e Outros	0,33	0,06	394	0%	0,05
Têxteis	0,31	0,06	4.069	1%	0,12
Distribuição de Gás Natural	0,31	0,01	-	0%	0,00
Químicos Diversos	0,30	0,06	2.060	1%	0,16
Caminhões e Ônibus	0,29	0,02	6.992	2%	0,36
Defensivos Agrícolas	0,29	0,02	787	0%	0,07
Construção	0,28	0,03	977	0%	0,01
Indústrias Diversas	0,25	0,02	3.486	1%	0,11
Material Eletrônico	0,22	0,06	7.401	2%	0,20
Outros Serviços	0,16	0,01	1.180	0%	0,01
Produtos Farmacêuticos	0,15	0,02	1.379	0%	0,05
Artigos do Vestuário	0,15	0,01	835	0%	0,03
Aparelhos Médicos	0,15	0,01	1.277	0%	0,12
Jornais, Revistas e Discos	0,14	0,01	252	0%	0,01

Fonte: base de dados do modelo BeGreen.

4. Simulações de políticas de mitigação de emissões de GEE na indústria

Nesta seção, reportam-se os procedimentos utilizados nas simulações de políticas mitigatórias de GEE sobre o setor industrial brasileiro. As políticas estudadas são duas: 1) imposição de uma política de controle de emissões comum aos setores selecionados(CAP); e 2) uma política de mercado de carbono (CAP-AND-TRADE) sobre setores selecionados, inspirado no Plano Setorial de Mitigação da Indústria, conforme já salientado.

Para as simulações utiliza-se um cenário de referência para a economia brasileira, na ausência das políticas. O cenário de referência configura-se como um cenário tendencial da

economia em que desvios em relação a ele podem ser mensurados, estimando-se os efeitos de políticas específicas. O cenário de referência representa uma trajetória de crescimento da economia brasileira entre 2006 a 2030, assim como a trajetória das emissões totais e setoriais que ocorreriam se não houvesse nenhuma política de controle e/ou de mercado de carbono. A evolução da economia no período 2006-2030 é baseada nos dados macroeconômicos e de emissões observados entre 2006 e 2011 (IBGE, FUNCEX, MDIC) e nas projeções de crescimento do PIB, consumo das famílias, governo, investimento e exportações do Bacen e Ministério da Fazenda/OECD. O cenário também incorpora informações sobre o aumento de eficiência energética baseado em projeções da EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

Adotamos para o cenário de referências uma taxa média de crescimento do PIB brasileiro de 4,0% ao ano de 2005 a 2030. Nele, as emissões crescem, em média, 3,0% a.a., com destaque para o crescimento das emissões do uso de energia – combustíveis - (3,4% a.a.) e dos processos industriais (4,0% a.a.). Observa-se, portanto, uma aceleração do crescimento das emissões dos processos industriais e um aumento de sua participação no total das emissões, assim como um crescimento mais lento das emissões da agropecuária, com consequente perda de participação desta no total de emissões.

A diferença entre as trajetórias do cenário de referência e do cenário de política representa o efeito das políticas de mitigação de GEE simuladas. Em cada cenário, a política se inicia em 2016. Novas simulações encadeadas, ano a ano, permitem-nos analisar os resultados até 2030, a partir de desvios acumulados em relação ao cenário de referência.

Tendo como motivação as metas e os setores contidos no Plano Setorial de Mitigação da Indústria⁶, foram elaborados dois cenários de políticas, resumidos no Quadro 1. O primeiro (Cenário I) refere-se à política na qual se estabelece, em 2016, uma norma de redução de emissões obrigatória para os setores industriais selecionados. Estes setores são os mais representativos em termos de emissões de GEE, e correspondiam a 23% das emissões setoriais no Brasil em 2005, conforme reporta a Tabela 3. A política teria duas fases: 2016 a 2020 e 2021 a 2030. Na 1ª fase, a meta seria uma redução em relação ao cenário de referência de 5% das emissões⁷ projetadas entre 2016-2020 para os setores de Cimento, Outros Produtos Minerais não Metálicos (cal), Celulose e Papel, Metais não Ferrosos (alumínio) e Fabricação de Aço e Derivados (ferro gusa e aço). Já na 2ª fase (2021-2030), esta meta seria ampliada para 10% em relação ao cenário de referência, incorporando os setores de Produtos químicos e Exploração e refino de petróleo e gás natural.

⁶<http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2012/06/25/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao-a-mudanca-do-clima-em-consulta-publica>.

⁷A meta de redução da primeira fase foi baseada no Plano Indústria.

Quadro 1 -Características e especificações dos cenários de política

	Cenário I	Cenário II
Política	Norma de redução de emissões obrigatória (CAP)	Limite de emissões via mercado de carbono (CAP-AND-TRADE)
Fase I	2016-2020	2016-2020
Setores	Cimento, cal, papel e celulose, alumínio, ferro gusa e aço.	Cimento, cal, papel e celulose, alumínio, ferro gusa e aço.
Meta	Redução de 5% das emissões projetadas entre 2016-20	Redução de 5% das emissões projetadas entre 2016-20
Fase II	2021-2030	2021-2030
Setores	Cimento, cal, papel e celulose, alumínio, ferro gusa e aço, químico, exploração e refino de petróleo e gás natural.	Cimento, cal, papel e celulose, alumínio, ferro gusa e aço, químico, exploração e refino de petróleo e gás natural.
Meta	Redução de 10% das emissões projetadas entre 2021-30	Redução de 10% das emissões projetadas entre 2021-30

Fonte: Elaboração própria.

O segundo cenário (Cenário II), por sua vez, representaria uma política de redução de emissões com as mesmas metas, fases e setores da política anterior, porém com o estabelecimento de um mercado de carbono para os setores industriais, a exemplo das EU-ETS da União Europeia. A distribuição das permissões seria 100% gratuita, alocadas entre os setores de acordo com sua participação no total das emissões do conjunto de setores no mercado de carbono.

Tabela 3- Emissões totais (uso de combustíveis e processo produtivo) em 2005 dos setores cobertos pelas políticas de controle de emissões (CAP) e mercado de carbono (CAP-AND-TRADE)

Setores	Emissões (Gg CO2-e)	Part. (%) sobre emissões totais no Brasil
Fabricação de Aço e Derivados	90855	10%
Produtos Químicos	27565	3%
Cimento	19904	2%
Petróleo e Gás	19111	2%
Refino de Petróleo	17676	2%
Outros Produtos não-Metálicos	13185	1%
Metais não-Ferrosos	7258	1%
Celulose e Papel	4470	1%
Total Emissões Setores CAP	200024	23%
Total Emissões Todos Setores	883048	100%

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

4.1. Impactos Setoriais das políticas de mitigação na indústria

Espera-se que as políticas simuladas coloquem custos de produção crescentes sobre a atividade industrial e a economia como um todo. Em linhas gerais, o principal efeito de políticas de imposição de restrições de emissões sobre os setores incluídos é o aumento dos custos dos bens industriais intensivos em carbono, deslocando as curvas de custo marginal para cima. Intuitivamente, a extensão deste efeito vai variar conforme a participação de bens energéticos ou intensivos em carbono na produção, implicando que os grandes usuários de energia e combustíveis sentirão mais intensamente os efeitos. O mesmo pode ser dito com relação aos bens produzidos pelos setores produtivos emissores, como produtos químicos e ferro e aço, por exemplo.

O encadeamento e interdependência dos diversos setores na economia, refletidos no uso de insumos no processo de produção é um elemento determinante na elucidação dos impactos setoriais. Embora a estrutura produtiva setorial seja crucial para os resultados, é apenas o ponto de partida para entender o efeito de metas de emissões sobre a economia. Outro fator importante é o grau de possibilidade de substituição entre as diversas fontes de energia (renováveis, não renováveis) e o uso de combustíveis. Este fator influencia a magnitude sobre a qual o aumento dos custos dos produtos intensivos em carbono é repassado para os custos de produção setoriais. Somam-se ainda, os efeitos ocasionados pelo deslocamento de fatores produtivos que influenciam o desempenho setorial. Tendo em vista estes determinantes, a Tabela 4 apresenta os impactos das políticas sobre o nível de atividade setorial.

Tabela 4 - Impactos no nível de atividade industrial de um limite de emissões (CAP) e limite de emissões via mercado de carbono (CAP AND TRADE) – 2016 a 2030 (desvio % acumulado em relação ao cenário de referência em 2030)

Setores	Cenário I	Cenário II	Setores	Cenário I	Cenário II
	CAP	CAP-AND-TRADE		CAP	CAP-AND-TRADE
Petróleo e Gás	-6.51	-3.01	Químicos Diversos	-0.36	-0.65
Minério de Ferro	-1.73	-1.55	Borracha e Plástico	-1.83	-1.96
Outros da Extrativa	0.96	1.31	Cimento	-10.16	-7.67
Alimentos e Bebidas	0.93	0.88	Outros Produtos não-Metálicos	-6.80	-6.13
Produtos do Fumo	0.76	0.72	Fabricação de Aço e Derivados	-16.84	-17.89
Têxteis	0.92	0.88	Metais não-Ferrosos	-4.32	-5.73
Artigos do Vestuário	1.12	0.94	Produtos de Metal	-4.58	-4.53
Couro e Calçados	1.30	1.11	Máquinas e Equipamentos	-7.37	-7.85
Produtos de Madeira	-0.94	-0.71	Eletrodomésticos	-4.89	-5.55
Celulose e Papel	-1.25	-2.11	Escritório e Informática	-1.94	-1.60
Jornais, Revistas e Discos	0.46	0.26	Material Elétrico	-2.20	-2.03
Refino de Petróleo	-7.91	-5.22	Material Eletrônico	-1.47	-1.30
Álcool	1.03	0.75	Aparelhos Médicos	-0.54	-0.62
Produtos Químicos	-5.28	-7.60	Automóveis e Utilitários	-7.45	-8.10
Resina e Elastano	-1.74	-2.37	Caminhões e Ônibus	-4.92	-5.12
Produtos Farmacêuticos	0.61	0.47	Peças para Veículos Autom.	-5.12	-5.42
Defensivos Agrícolas	0.69	0.68	Equipamentos de Transporte	-3.65	-3.89
Perfumaria e Outros	0.51	0.27	Indústrias Diversas	-1.29	-1.50
Tintas e Outros	-2.19	-2.09			

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo BeGreen

Mais uma vez, cabe enfatizar que os setores apresentam crescimento positivo no cenário base, logo, os resultados negativos de impacto mostrados na tabela são reduções relativas a este cenário e, portanto, não devem ser lidos como retrações absolutas do nível de atividade.

A incidência das políticas é bastante diferenciada entre os setores. O impacto mais direto sobre o nível de atividade ocorre nos setores industriais que fazem parte das políticas. Fabricação de Aço e Derivados, Cimento, Refino de Petróleo, Petróleo e Gás, Outros Produtos não metálicos, Produtos Químicos e Celulose e Papel tem quedas mais proeminentes da sua produção. A explicação mais pormenorizada para estes resultados reside no aumento dos custos dos setores intensivos em carbono e na conseqüente queda do investimento. Os resultados também são heterogêneos ao se comparar as perdas entre as políticas de CAP e *cap-and-trade* dos setores mais afetados pelas políticas. Setores como Cimento, Petróleo e Gás e Refino de Petróleo, teriam perdas menos intensas com a política de mercado de carbono. Por outro lado, setores como Fabricação de Aço e Derivados e Produtos Químicos têm quedas mais acentuadas com o mercado de carbono do que com limite de emissões sem comercialização. Estes resultados serão mais bem detalhados a seguir, que apresenta os resultados sobre os custos setoriais e de comércio de permissões entre os setores.

De modo indireto, via interligações da cadeia produtiva, outros setores também são afetados negativamente, pela queda da produção dos setores correlacionados. Enquadram neste caso, Automóveis e Utilitários, Máquinas e Equipamentos, Caminhões e Ônibus e Eletrodomésticos. Os setores de manufaturados leves (Alimentos e Bebidas, Têxteis, Artigos do vestuário, Couro e calçados) não são afetados pela política e até apresentam crescimento do nível de atividade nos dois cenários.

Os impactos da política sobre os custos setoriais de produção (Tabela 5) ajudam a explicar os efeitos verificados sobre o nível de atividade setorial. Com efeito, o custo de produção dos setores aumenta à medida que eles precisam levar em conta o custo das emissões de GEE e isso repercute sobre o nível de produção de cada setor. Como pode ser comprovada na tabela, a imposição de metas de emissões traz custos significativos para os setores industriais selecionados nas políticas, com destaque para Fabricação de Aço e Derivados e Cimento. No caso do setor de Cimento, por exemplo, que é um comprador líquido de permissões (este resultado será apresentado mais adiante), é menos custoso comprar emissões num mercado de carbono do que se deparar com seus próprios custos de abatimento de emissões num cenário de CAP sem comercialização. Assim, para os setores com curvas de custo marginal de redução de emissões mais altas, a participação em um mercado de carbono pode ser benéfica se comparado a imposição de uma norma ou limite de redução de emissões. Enquadram-se, nesta categoria, além do setor de Cimento, Petróleo e Gás, Refino de Petróleo e Outros Produtos não Metálicos, por exemplo.

Este resultado mostra a importância de considerações setoriais e de desenho de mecanismos na formulação das políticas de mitigação. A política de imposição de metas encarece os custos de produção de setores importantes na composição do investimento (cimento, aço, não-metálicos) e beneficia relativamente setores de bens de consumo (têxteis, vestuários e calçados). O encarecimento do investimento, por seu turno, enfraquece possibilidades de crescimento da economia e de acumulação de capital. A política de mercado de carbono consegue atingir as mesmas metas de redução de emissões com efeitos menos adversos.

Tabela 5 - Impactos sobre o custo setorial de produção de um limite de emissões (CAP) e de cenários de limite de emissões via mercado de carbono (CAP-AND-TRADE) – 2016 a 2030 (desvio % acumulado em relação ao cenário de referência em 2030)

Setores	Cenário I	Cenário II	Setores	Cenário I	Cenário II
	CAP	CAP-AND-TRADE		CAP	CAP-AND-TRADE
Petróleo e Gás	-1.80	-2.81	Químicos Diversos	-1.25	-1.03
Minério de Ferro	-3.82	-4.37	Borracha e Plástico	-0.80	-0.59
Outros da Extrativa	-0.66	-0.95	Cimento	64.63	34.25
Alimentos e Bebidas	-1.77	-2.02	Outros Produtos não-Metálicos	19.01	14.62
Produtos do Fumo	-1.12	-1.20	Fabricação de Aço e Derivados	46.13	50.21
Têxteis	-1.63	-1.89	Metais não-Ferrosos	0.61	3.19
Artigos do Vestuário	-2.65	-2.95	Produtos de Metal	4.70	5.80
Couro e Calçados	-2.62	-2.66	Máquinas e Equipamentos	5.80	6.77
Produtos de Madeira	-2.76	-3.09	Eletrodomésticos	7.50	8.14
Celulose e Papel	1.65	3.39	Escritório e Informática	-1.90	-2.12
Jornais, Revistas e Discos	-2.76	-2.73	Material Elétrico	1.24	1.24
Refino de Petróleo	17.30	8.88	Material Eletrônico	-0.55	-0.74
Álcool	2.75	2.36	Aparelhos Médicos	-1.88	-2.02
Produtos Químicos	8.18	12.57	Automóveis e Utilitários	4.27	4.60
Resina e Elastano	0.98	2.04	Caminhões e Ônibus	2.91	3.27
Produtos Farmacêuticos	-1.90	-2.13	Peças para Veículos Autom.	6.43	7.19
Defensivos Agrícolas	0.02	0.41	Equipamentos de Transporte	3.22	3.42
Perfumaria e Outros	-1.18	-1.19	Indústrias Diversas	-0.56	-0.49
Tintas e Outros	-0.53	-0.63			

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo BeGreen

Os resultados do mercado de carbono entre setores industriais (Cenário II) podem ser mais bem analisados pela Tabela 6. Nela é reportada a redução das emissões por setor em cada fase, as emissões e permissões em giga gramas de CO₂-e e o comércio de permissões dos setores. As duas últimas colunas, por sua vez, tratam da receita com o comércio de permissões e da participação desta sobre o valor da produção de cada setor ao final de cada fase.

Dado um preço do carbono, definido pelo CAP no conjunto de setores, o setor maximiza sua produção escolhendo o quanto vai reduzir de emissões. Essa redução depende desse preço e do custo marginal de abatimento de emissões do setor (que está relacionado à função de produção, uso de insumos, emissões, dentre outros fatores). Se o setor é vendedor de permissões, isto indica que seu custo de abatimento é menor, vis-à-vis um comprador cujos custos de redução seriam mais elevados.

Tabela 6 - Resultados da política de um limite de emissões via mercado de carbono sobre setores industriais

Fases da Política de Mercado de Carbono no Brasil	Setores	Redução das emissões com CAP-AND-TRADE (var %)	Emissões iniciais (Gg CO2-e)	Permissões (Gg CO2-e)	Redução das Emissões (Gg CO2-e)	Comércio de permissões (Gg CO2-e)	Receita no comércio de permissões (R\$ milhões)*	Receita no comércio de permissões (% do valor de produção setorial)**
1ª fase - 2016-2020(ME TA = 5%)	Celulose e Papel	-7.6	6576	329	501	173	58	0.03
	Cimento	-4.9	33173	1659	1619	-39	-12	-0.04
	Outros Produtos Minerais não Metálicos	-6.8	16473	824	1132	308	104	0.10
	Fabricação de Aço e Derivados	-4.2	106902	5345	4518	-827	-280	-0.12
	Metais não Ferrosos	-9.4	8761	438	824	386	130	0.13
2ª fase - 2021-2030(ME TA = 10%)	Celulose e Papel	-11.0	7539	754	828	74	159	0.08
	Cimento	-7.1	41370	4137	2910	-1227	-2589	-3.02
	Outros Produtos Minerais não Metálicos	-9.2	19748	1975	1778	-197	-410	-0.15
	Fabricação de Aço e Derivados	-11.7	127206	12721	14777	2056	4321	0.71
	Metais não Ferrosos	-12.0	10045	1004	1160	156	330	0.15
	Petróleo e Gás	-5.3	38136	3814	1996	-1817	-3836	-0.49
	Refino de Petróleo	-8.2	29068	2907	2331	-575	-1218	-0.10
Produtos Químicos	-14.6	34280	3428	4959	1531	3247	0.63	

*variação percentual das emissões (desvio acumulado no final de cada fase em relação ao cenário de referência)

*receita acumulada ao final de cada fase

**participação da receita sobre o valor da produção ao final de cada fase

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo BeGreen

Na primeira fase da política (2016-20), por exemplo, Fabricação de Aço e Derivados, seguido de Cimento, seriam os setores que se configuram como compradores de permissões. Isso indica que o custo marginal de abatimento para estes setores é maior do que o preço de carbono no mercado, fazendo com que seja mais eficiente comprarem permissões, reduzindo as emissões abaixo da meta estipulada. O contrário é válido para Celulose e Papel, Outros produtos minerais não-metálicos e Metais não-ferrosos.

Um resultado interessante é que na segunda fase da política, com a ampliação do mercado para mais três setores, Fabricação de Aço e Derivados passaria a ser vendedor líquido de permissões, o que sugere que com a entrada de setores com custos mais altos de abatimento

(Petróleo e Gás, Refino de petróleo), e conseqüentemente, preços de carbono mais elevados, o custo de abatimento do setor passa a ser menor do que o preço das permissões no mercado.

No tocante às receitas (ou despesas) provenientes da venda e compra de permissões no mercado de carbono, em geral, os resultados apontam que a participação destas sobre o valor de produção setorial é relativamente baixa, assinalando que a compra ou venda das permissões têm um efeito marginal sobre as decisões de produção dos setores.

4.2. Impactos das políticas de mitigação na indústria sobre os indicadores macroeconômicos

Uma forma de se avaliar o custo das políticas de mitigação é analisar as perdas de produção, consumo, exportações e investimento decorrentes, uma vez que a imposição de metas de emissões ou mercados de carbono implica um ajuste da economia no sentido de realocação de insumos e de processos produtivos. Como a tecnologia de produção setorial é dada (não ocorre progresso tecnológico decorrente da política) necessariamente a colocação das políticas de mitigação eleva custos de produção na economia, apesar de certa capacidade dos setores de realocação de insumos e fatores produtivos. Essa realocação irá surgir pelo fato dos setores envolvidos tomarem a emissão de carbono como custo, e na sua nova estratégia de otimização produtiva buscarem uma combinação de insumos com menor emissão, daí o incentivo para a substituição de combustíveis com menor emissão de GEE (no caso do modelo, gás natural, álcool, biomassa e geração de energia hidroelétrica).

A Tabela 7 mostra os resultados agregados e indicadores de emissões para os cenários de política I e II. Os números representam o desvio percentual acumulado (de 2016 a 2030) em decorrência de cada política, em relação ao cenário de referência. Não é surpreendente a redução do PIB real sob cenários de imposição de metas de emissão. Uma política de controle de emissões sobre os setores industriais mais relevantes em termos de emissões, por exemplo, poderia resultar em um decréscimo acumulado do PIB em relação ao cenário de referência de -1,06% em 2030. Cabe lembrar que este resultado representa uma redução relativa ao cenário de referência em 2030 e, portanto, não é uma queda absoluta do PIB. Em outras palavras, isso significa dizer que o crescimento do PIB passaria de 4,00% ao ano para cerca de 3,92% em média até 2030, considerando a política de restrição de emissões.

Todavia, se o limite de emissões fosse alcançado via mercado de carbono entre os setores, o custo em termos do PIB seria menor. Neste caso, o PIB apresentaria uma redução acumulada de -0,94% em 2030, uma redução de impacto de 0,12 pontos percentuais, o que equivaleria a cerca de R\$270 bilhões de reais. Este é um resultado importante, derivado da maior eficiência do mercado de carbono, conforme preconizado pela literatura. Isto decorre do fato de

que os setores com menores custos de redução de emissões reduzem suas emissões além do seu volume de permissões, vendendo o excedente de permissões, ao passo que os setores com maiores custos de abatimento compram tais permissões e reduzem suas emissões abaixo da sua alocação inicial de permissões. Desse modo, há um ganho de eficiência econômica quando o mercado de carbono é estabelecido.

Tabela 7 - Impactos macroeconômicos de um limite de emissões (CAP) e limite de emissões via mercado de carbono (CAP AND TRADE) sobre a economia brasileira – 2016 a 2030 (desvio % acumulado em relação ao cenário de referência em 2030)

Variável	Cenário I	Cenário II
	CAP	CAP-AND-TRADE
PIB	-1.06	-0.94
Investimento	-2.99	-2.52
Consumo das Famílias	-0.58	-0.52
Exportações	-2.67	-2.80
Importações	-0.52	-0.86
Índice de preços das exportações	2.57	2.74
Variação Total das Emissões	-3.87	-3.66
Agropecuária	0.47	0.54
Uso de Energia (combustíveis)	-5.97	-5.74
Geração e Distribuição de Energia Elétrica	2.12	1.89
Setores industriais	-10.54	-10.86
Setor de Transporte	-1.21	-1.37
Outros Setores	-5.23	-3.03
Processos Industriais	-11.39	-10.72

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo BeGreen

A queda do PIB nos dois cenários está associada ao comportamento do consumo das famílias, investimento e exportações. O consumo das famílias se reduz em decorrência do efeito renda negativo, pela queda da atividade econômica. A redução do investimento, por seu turno, está ligada ao aumento de custos do investimento e da menor necessidade de expansão do capital. Este resultado pode ser relacionado à rentabilidade dos fatores primários, principalmente do capital, que recua. É razoável ter como efeito uma queda na rentabilidade dos fatores primários, em razão da diminuição na demanda por estes fatores, como decorrência da redução da produção e da atividade econômica⁸. Os declínios na rentabilidade dos fatores primários indicam que a incidência da

⁸ A rentabilidade da terra cai mais acentuadamente, devido à hipóteses da simulação de que a oferta de terra é fixa.

precificação de carbono não é repassada integralmente aos consumidores finais, sendo parcialmente absorvida pelos preços dos fatores. A tabela mostra, entretanto, que a redução do investimento é mais amena quando do cenário de mercado de carbono, dada a maior eficiência deste sobre os custos dos setores participantes do mercado.

As exportações também apresentariam um impacto negativo pela perda de competitividade dos produtos nacionais. Esta queda deve-se ao efeito preço, pela elevação dos custos de produção, uma vez que as exportações variam inversamente com os preços domésticos. No caso das importações, os resultados indicam uma queda acumulada em 2030. Com a queda da atividade econômica ao longo dos anos, ocorre redução de preços domésticos, que conjugado a uma queda simultânea na renda implica diminuição das importações. Entretanto, como as importações recuam menos que o PIB, há substituição de produtos domésticos pelos importados, embora este efeito seja pequeno.

No tocante às emissões totais (Tabela 7), nota-se uma queda percentual para os dois cenários de política em torno de 3,5 vezes a queda do PIB. O impacto sobre as emissões na economia ficaria em torno de -3,87% e -3,66%, respectivamente para os cenários I e II. Contudo, as reduções setoriais são heterogêneas. As emissões ligadas aos setores industriais são as que mais se reduzem, pois se referem aos setores-alvo das políticas de CAP e *Cap-and-Trade*. Os setores da agropecuária e de geração e distribuição de energia elétrica apresentam elevação das emissões, o que caracteriza um efeito de *carbono leakage* (vazamento de emissões). A trajetória das emissões ao longo de todo o período das duas políticas (2016-2030) pode ser observada na Figura 1, assim como o comportamento do preço do carbono na política de *Cap-and-Trade*.

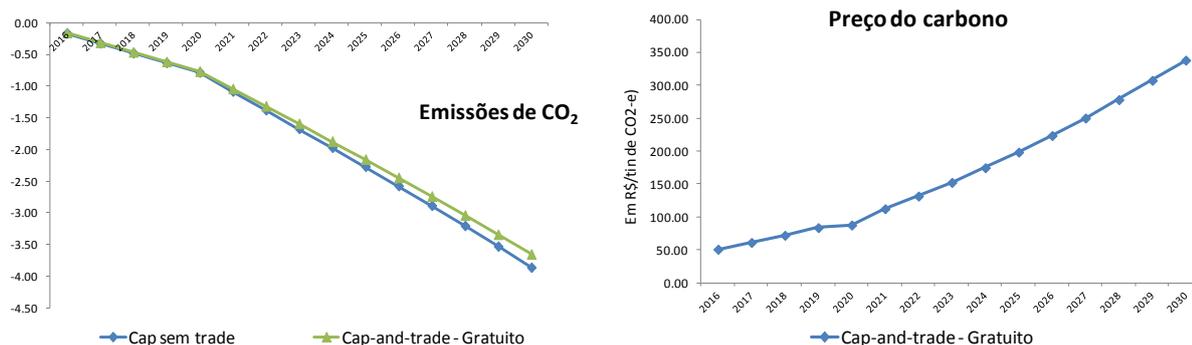


Figura 1 - Trajetória de crescimento das emissões nos dois cenários de política e a trajetória do preço do carbono no cenário de *Cap-and-Trade*

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo BeGreen

Embora a diferença entre as reduções de emissões dos cenários seja pequena, pode-se observar que as trajetórias se diferenciam a partir da segunda fase das políticas de carbono, cuja

meta de redução aumenta de 5% para 10%. A partir de então, a redução do cenário de CAP é marginalmente maior que a redução do cenário de *Cap-and-Trade*.

O preço do carbono vigente no mercado na política de *cap-and-trade* é um indicador do custo marginal de redução de emissões no conjunto dos setores da política. Metas progressivas de reduções de emissões até 2030 implicam uma escalada crescente dos preços de carbono quando há comercialização via mercado de carbono das permissões. A ampliação dos setores na fase II implica certa inflexão da reta do preço de carbono a partir de 2021, sugerindo aumento dos custos marginais de redução de emissões com a ampliação dos setores industriais e também da meta de redução das metrasse preços que se iniciam em R\$ 50,00 por tonelada de CO₂-eq alcançam R\$338,00 em 2030, dadas as metas mais ambiciosas de redução de emissões e a entrada de setores com maiores custos de abatimento de emissões. Deve-se ressaltar que estes preços mais elevados de carbono se justificam pelo fato de compreender apenas setores industriais, não incluindo setores da Agricultura e Pecuária, por exemplo, que tenderia a reduzir consideravelmente o preço de carbono no mercado, dados seus menores custos de redução.

5. Conclusões

Este trabalho procurou contribuir para o estudo de políticas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. O foco são políticas com mecanismos de mercado, tidas como as de menor custo para a obtenção de redução de emissões de GEE. Uma vez que as emissões de GEE no Brasil estão se concentrando na utilização de energia (combustíveis fósseis) e na atividade industrial, como mostram os dados de emissões de 2010, torna-se importante estudar o impacto de políticas de mitigação sobre a indústria.

A política industrial, por exemplo o Plano Brasil Maior, propõe metas de produção industrial mais limpas, que impliquem na redução do consumo de energia por unidade do PIB industrial, o que direta e indiretamente vai no sentido de redução de emissões de GEE. Estes incentivos podem diminuir o impacto de políticas de redução de emissões ou de mercados de carbono, pois tendem a incentivar inovações e eficiência no uso de combustíveis emissores de GEE. Os resultados apresentados nas simulações deste artigo podem ajudar a direcionar os setores industriais onde a inovação tecnológica na redução de emissões pode ser direcionada, como a de Cimento, Siderurgia, Produtos Não-Metálicos, Refino de Petróleo e Produtos Químicos.

A política de mercado de carbono mostrou-se custo-efetiva: alcançou a mesma redução de emissões com um custo menor de perda de atividade econômica. Em termos monetários, relativamente à política de imposição de metas sem comercialização, o mercado de carbono evitaria a perda de R\$ 270 bilhões de atividade econômica entre 2016 e 2030, o equivalente a 6,2% do PIB brasileiro de 2012.

6. Referências bibliográficas

- ABARE. *The Megabare Model: Interim Documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. Canberra, 1996, 71 p.
- ADAMS, P. D.; HORRIDGE, M.; PARMENTER, B. R. *MMRF-GREEN: A Dynamic, Multi-sectoral, Multi-regional Model of Australia*. Australia: Monash University, Centre of Policy Studies, Impact Project, 2000.
- ALDY, J. E.; KRUPNICK, A. J.; NEWELL, R. G.; PARRY, I. W. H.; PIZER, W. A. *Climate economics and policy*. RFF Discussion Paper. Washington, DC: Resources for the Future, 2008.
- ALDY, J. E.; STAVINS, R. N. *Post-Kyoto International Climate Policy: Summary for Policymakers*. New York: Cambridge University Press, 2009.
- BAUMOL, W. J., OATES, W. E. *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, 2nd edition, 1988.
- BEHR, T., WITTE, J.M., HOXTELL, W., MANZER, J. *Towards a Global Carbon Market Potential and Limits of Carbon Market Integration*, GPPI Policy Paper 5, Berlin: Global Public Policy Institute, 2009.
- BOSETTI, V., BUCHNER, B. Data Envelopment Analysis of different climate policy scenarios. *Ecological Economics* 68, 2009, pp. 1340 –1354.
- Brasil. Congresso Nacional. *Lei no 12.187*, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. Brasília, 9 dez. 2010.
- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Contribuições do Brasil para Evitar a Mudança do Clima*. 2008. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/73007.html>)
- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Segundo Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal* INERAGEE, 2010. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>)
- CLARKE, L., EDMONDS, J., KREY, V., RICHEL, R., ROSE, S., TAVONI, M. International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. *Energy Economics* 31, 2009 pp.64–81.
- DIXON, P. B.; PARMENTER B. R.; SUTTON, J. M.; VINCENT D. P. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. Amsterdam: North-Holland, 1982.
- EDMONDS, J.; KIM, S. H.; McCracken, C. N.; SANDS, R. D.; WISE, M. A. *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-2000 Period*. Washington, D.C.: Pacific Northwest National Laboratory, operated by Battelle Memorial Institute. 1997.
- FEIJO, F. T.; PORTO Jr., Protocolo de Quioto e o Bem Estar Econômico no Brasil Uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável. *Análise Econômica* (UFRGS), v.51, p. 127-154, 2009.
- FERREIRA FILHO, J. B. S.; ROCHA, M. T. Avaliação econômica de políticas públicas visando redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina. *Anais ...* Londrina: SOBER, 2007.
- FLACHSLAND, C., EDENHOFER, O., JAKOB, M., STECKEL, J. *Developing the International Carbon Market. Linking Options for the EU ETS*. Report to the Policy Planning Staff in the Federal Foreign Office. Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2008.

- FRANKEL, J. *An elaborated proposal for global climate policy architecture: Specific formulas and emission targets for all countries in all decades*. Discussion Paper 2008-08, Cambridge, MA: Harvard Project on International Climate Agreements, 2008.
- GOUVELLO, C. (Ed.) *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. 2010. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1276778791019/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf> Acesso em 5 de Julho de 2011.
- GRUBB, M., NEUHOFF K. Allocation and competitiveness in the EU emissions trading scheme: policy overview. *ClimatePolicy* 6, 2006, pp.7–30.
- GURGEL, A. C. Impactos da economia mundial de baixo carbono sobre o brasil. *Anais da ANPEC*, 2012.
- HAHN, R. W.; STAVINS, R. N. *What Has the Kyoto Protocol Wrought? The Real Architecture of International Tradable Permit Markets*. Washington, D.C.: American Enterprise Institute Press, 1999.
- HANOCH, G. CRESH production functions. *Econometrica*. USA, v. 39, n. 5, p. 695–712, 1971.
- HEPBURN, C. Regulating by prices, quantities or both: an update and an overview. *Oxford Review of Economic Policy*, v.22, p.226–247, 2006.
- HINCHY, M.; HANSLOW, K. *The MEGABARE model: interim documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 1996. Disponível em: < <http://www.abareconomics.com>>.
- KLEPPER, G. The future of the European Emission Trading System and the Clean Development Mechanism in a post-Kyoto world, *Energy Economics*, In Press, Corrected Proof, Available online 12 January 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V7G-51XR3M5-1/2/8117ca657fa66e17e77bcd742e04c0b3>> Acesso em 14 de Dezembro de 2011.
- KRUGER, J., PIZER, W. *The EU Emissions Trading Directive. Opportunities and Potential Pitfalls*. Resources for the Future Discussion Paper, RFF DP 04-24, 2004.
- LIMA, E. M. C. *Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira*. 2011. 151p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.
- MACE, M.J., MILLAR, I., SCHWARTE, C., ANDERSON, J., BROEKHOFF, D., BRADLEY, R., BOWYER, C., HEILMAYR, R. *Analysis of legal and organisational issues arising in linking the EU Emissions Trading Scheme to other existing and emerging emissions trading schemes*. London, Brussels, Washington, DC: Foundation for International Environmental Law and Development, Institute for European Environmental Policy, World Resources Institut, 2008.
- MAGALHÃES, A. S. *Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa*. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/ Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- McKIBBIN, W., WILCOXEN, P. The role of economics in climate change policy. *Journal of Economic Perspectives* 16, 2002, pp.107–129.
- METCALF, G.; WEISBACH, D. Linking Policies When Tastes Differ: Global Climate Policy in a Heterogeneous World. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010.
- MIGUEZ, J. D. G. et alii. O Protocolo de Quioto e sua regulamentação no Brasil. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, Brasília, Ipea, n. 4, jul. 2010.
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na indústria de transformação. Brasília, jun. 2013.

- NORDHAUS, W. D. *A question of balance: weighing the options on global warming policies*. New Haven, Yale University Press, 2008.
- OLMSTEAD, S. M.; STAVINS, R. N. *Three key elements of post-2012 international climate policy architecture*. HKS Faculty Research Working Papers Series RWP10-030. 2010.
- PEREIRA, A. S.; MAY, P. H. Economia do Aquecimento Global. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003, pp. 219-244.
- PETER, W. W. HORRIDGE, M.; MEGUER, G. A. NAVQUI, F.; PARMENTER, B. R. *The theoretical structure of MONASH-MRF*. Clayton: Center of Policy Studies, 1996. 121 p. (Preliminary working paper, OP-85). Disponível em: <http://www.monash.edu.au/polycy>. Acesso em: 12 jul. 2010.
- REQUATE, T. Dynamic incentives by environmental policy instruments - a survey. *Ecological Economics* 54, 2005, pp.175–195
- RONG, F. Understanding developing country stances on post-2012 climate change negotiations: Comparative analysis of Brazil, China, India, Mexico, and South Africa, *Energy Policy* 38 (8), 2010, pp. 4582-4591.
- SILVA, J. G; GURGEL, A. C. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 42, n. 1, 2012.
- SPRINGER, U. The market for tradable GHG permits under the Kyoto Protocol: a survey of model studies, *Energy Economics* 25 (5), 2003, pp. 527-551.
- STAVINS, R. N. *Policy Instruments for Climate Change: How Can National Governments Address a Global Problem?* The University of Chicago Legal Forum, 1997, pp. 293-329:
- TIETENBERG, T. H. Economic Instruments for Environmental Regulation. *Oxford Review of Economic Policy*, 6(1), 1990, pp. 17-33.
- TOL, R. The economic effects of climate change. *Journal of Economic Perspectives*, 23, 2009, pp. 29–51.
- TOURINHO, O. A. F.; da MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. *Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral*. IPEA. Texto para discussão n. 976, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: (http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf)
- UK Energy White Paper. *Our Energy Future-Creating a Low carbon Economy*. Fev. 2003. Disponível em: http://www.berr.gov.uk/file_10719.pdf Acesso em Dezembro de 2011.
- United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. *Protocolo de Quioto*. 2.ed. Brasília: MCT, 2001. 34p. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4006.html>).
- WATSON, R. T., (Ed.) *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2001.
- WEYANT, J. (Ed.) The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, *Energy Journal* (Special Issue), 1999.
- WING I. S. *Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis*. The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical note N 6, 2004.
- WORLD BANK. *State and Trends of the Carbon Market 2010*. World Bank Report, Washington DC, 2010.
- WORLD BANK. *State and Trends of the Carbon Market 2011*. World Bank Report, Washington DC, 2011.

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