

# IMPACTOS E PERSPECTIVAS DO MERCADO DE CARBONO PÓS-2012 NO BRASIL

Aline Souza Magalhães<sup>1</sup>  
Admir Antônio Betarelli Júnior<sup>2</sup>  
Edson Paulo Domingues<sup>3</sup>

## RESUMO

Na conferência sobre mudança climática de Copenhague (COP-15, 2009), muitos países formalmente se comprometeram a reduzir ou limitar as suas emissões como um passo importante para alcançar um acordo global pós-Protocolo de Quioto. Dentre eles estão, além dos países do Anexo 1, as principais economias emergentes, como China, Índia, Brasil e Indonésia. Alguns países, liderados pelos EUA, têm insistido em iniciativas mais proeminentes por parte dos países em desenvolvimento, como, por exemplo, da aceitação voluntária de metas obrigatórias de emissões. Além disso, um cenário alternativo pós-Quioto, como 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 mercados regionais de créditos de carbono. Assim, diante destes cenários e do novo contexto pós-2012, o objetivo deste artigo é analisar os prováveis impactos para o Brasil do desenvolvimento de um mercado de carbono que tenha o país como participante ativo. As simulações compreendem diferentes alternativas para os países alcançarem suas metas de redução de emissões: mercado global de carbono, mercado de carbono restrito e mercado de carbono nacional e consideram as metas propostas no Acordo de Copenhague (UNFCCC, 2011). Os resultados sugerem que a política de menor custo para o Brasil seria aquela no qual o país estivesse inserido em um mercado de carbono global.

Palavras-Chave: Aquecimento Global, Políticas Climáticas Internacionais, Mercado de Carbono no Brasil  
Classificação JEL Q51, Q54, C68

## ABSTRACT

In the Copenhagen climate change conference (COP-15, 2009), many countries have formally pledged to cut or limit their emissions as an important step towards achieving a legally binding global agreement post-Kyoto Protocol. They include, in addition to the Annex 1 countries, major emerging economies such as China, India, Brazil and Indonesia. Some countries, led by U.S. have insisted on an important role for developing countries, for example, by voluntarily accepting an emission target post-2012. Moreover, an alternative post-Kyoto scenario, with the non-ratification of a global agreement would be the creation and strengthening of national policies to reduce GHG emissions, which could take the form of regional markets for carbon credits. Thus, before these scenarios and the new post-2012 framework, this paper aims to simulate the impacts for Brazil's development of a carbon market that has the country as an active participant. The simulations include different alternatives for countries achieve their emission reduction targets: the global carbon market, carbon market and restricted domestic carbon market. The results suggest that the lowest cost policy for Brazil would be one in which the country was embedded in a global carbon market.

Keywords: Global Warming, International Climate Policies, Carbon Market in Brazil.

JEL Classification: Q51, Q54, C68

Área de interesse: Área 10 - Economia Agrícola e do Meio Ambiente

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Economia no CEDEPLAR/UFMG.

<sup>2</sup> Doutorando em Economia no CEDEPLAR/UFMG.

<sup>3</sup> Professor Dr. Adjunto do Departamento de Ciências Econômicas – CEDEPLAR/UFMG

# IMPACTOS E PERSPECTIVAS DO MERCADO DE CARBONO PÓS-2012 NO BRASIL

## 1. INTRODUÇÃO

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 será suficiente para mudar largamente o clima na Terra e afetar intensamente diversas regiões, países e continentes.

A questão que se coloca agora não é mais se é certo ou incerto o aquecimento, se a mitigação é ou não importante, mas sim quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado. A partir destas constatações, um conjunto de polícias internacionais (como o Protocolo de Quioto) e nacionais foi estabelecido. O mercado de carbono é visto como um meio eficiente e de menor custo para que a economia global consiga diminuir ou pelo menos desacelerar as emissões de GEE com menores custos. O que se busca é uma economia de baixo carbono, com maior eficiência no uso de recursos naturais e menor emissões de GEE.

A popularidade crescente do comércio de emissões levou ao surgimento de sistemas *cap-and-trade* durante a última década. Com a adoção do Protocolo de Quioto, a comunidade internacional estabeleceu o primeiro sistema internacional de permissões negociáveis para o período de 2008 a 2012. Este sistema cobre as emissões de 37 países (Anexo 1 – países com metas obrigatórias de redução de emissões), que representam cerca de 30% das emissões globais. Em seu primeiro ano de operações os governos transacionaram licenças de emissão no valor total de US\$ 276 milhões, subindo para cerca de US\$ 2 bilhões em 2009. Já o mercado de créditos de redução (IC e MDL), que permitem a participação dos países em desenvolvimento, movimentou em 2008 um volume de US\$ 6,5 bilhões. Embora em 2009 tenha se verificado uma queda expressiva deste valor (US\$ 2,6 bilhões), em decorrência, sobretudo, da crise econômica mundial iniciada em 2007 (WORLD BANK, 2010 e 2011; BEHR, 2009).

No estágio atual, ainda existem muitas incertezas sobre esse mercado, e alguns estudos apontam as principais dificuldades e possibilidades que estariam envolvidas nas negociações internacionais pós-2012 (e.g. Olmstead e Stavins, 2010; Metcalf e Weisbach, 2010; Nordhaus, 2008a, 2008b; Rong, 2010; Zhang, 2009; Klepper, 2011, Frankel, 2008). Questões comumente debatidas, e de fundamental interesse para países como o Brasil, são a efetividade e abrangência de um novo acordo. Este será certamente um dos principais focos de futuras negociações, principalmente após 2012, uma vez que nesse ano expira o acordo firmado no Protocolo de Quioto. Os países em desenvolvimento, especialmente Brasil, China e Índia serão chamados a se posicionarem em relação à mitigação dos gases de efeito estufa, não pelo tamanho absoluto de sua população, economia, consumo de energia ou emissões de CO<sub>2</sub>, mas notadamente pelo rápido crescimento das taxas do PIB e emissões como pode ser notado na tabela 1 (RONG, 2010). Espera-se que as emissões de CO<sub>2</sub> dos países em desenvolvimento representem mais de metade das emissões globais até 2030, embora em termos *per capita*, os países desenvolvidos ainda estejam bem à frente (IEA, 2007; BOSETTI e BUCHNER, 2009).

Por outro lado, as oportunidades de reduções de emissões a baixo custo são maiores para os países em desenvolvimento (WATSON, 2001). Conforme estimativa de Edmonds *et alii* (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 gases de efeito estufa poderiam ser reduzidos em até 50%.

**Tabela 1 - Indicadores selecionados para Brasil, China e Índia (População, PIB, Consumo de energia e Emissões) – 2008**

País	População		PIB		Consumo de Energia			Emissões de CO <sub>2</sub>		
	Milhões	%	Bilhões (\$)	%	Taxa de Crescimento (%) <sup>a</sup>	Milhões de toneladas <sup>b</sup>	%	Milhões de toneladas	%	Taxa de Crescimento (%) <sup>a</sup>
Brasil	192	2,9	1613	2,7	5,4	228	2	350	1,2	6,8
China	1318	19,9	3860	6,4	13	2003	17,7	6083	20,7	6,4
Índia	1125	17	1217	2	9,1	433	3,8	1370	4,7	7
Mundo	6610	100	60115	100	3,8	11295	100	29167	100	1,6

<sup>a</sup>2007-2008

<sup>b</sup>Equivalentes de petróleo

Fonte: Adaptado de Rong (2010). Dados retirados de Banco Mundial (2009) e EIA (2009)

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, o que, pelo menos em tese, estimula o país a participar mais ativamente do mercado de carbono pós 2012.

Um primeiro passo já foi dado neste sentido nas conferências em Copenhague e em Cancun, onde o Brasil confirmou as suas metas nacionais voluntárias de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), com reduções entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Estas metas foram definidas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), aprovada pelo Congresso Nacional (Lei no 12.187) em 2009. No caso brasileiro, as autoridades têm apontado para o controle do desflorestamento, especialmente na Amazônia, como a principal proposta do país para reduções de emissões de GEE. Entretanto, alternativas de políticas de metas e negociação, mercado de carbono ou mesmo “impostos de carbono” devem ser estudadas, como propõe este artigo, sobretudo em razão das tendências de aumento das emissões do setor energético, de transporte (principalmente em relação ao uso do diesel), refino de petróleo com a descoberta do Pré-Sal e do setor industrial, cujas emissões acompanham o crescimento econômico. Para 2030, por exemplo, as emissões projetadas do setor energético são de um aumento de 97% ou mais do que 25% das emissões nacionais (GOUVELLO et alii, 2010). Portanto, políticas de mitigação que induzam a redução na intensidade de emissões a um menor custo possível devem ser discutidas.

No Brasil, por exemplo, já existem mecanismos de mercado de carbono para o fomento aos projetos de redução de emissão de gases de efeito estufa, no âmbito do MDL<sup>4</sup>, e este poderia ser um ponto de partida para a extensão deste mercado.

Além disso, um cenário alternativo pós-Quito, com a não ratificação de um acordo global, seria a criação e fortalecimento de políticas nacionais de redução de GEE, que poderiam tomar a forma de mercados regionais de créditos de carbono. Existem alguns exemplos de mercados de carbono já em funcionamento. O maior mercado do mundo é o existente na União Europeia, o EU ETS (*European Union's Emissions Trade Scheme*). Diversos autores tem se debruçado sobre este caso, que tem servido como exemplo na proposição de esquemas semelhantes nos Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia.

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, ou de um mercado internacional de carbono a partir de uma nova negociação nessa esfera. 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. Dentro desta perspectiva, este artigo tem por objetivo simular os impactos sobre crescimento e bem-estar para o Brasil do desenvolvimento de um mercado de carbono que tenha o país como participante ativo. Para tal, utilizou-se o modelo GTAP-E, uma versão estendida do modelo GTAP especialmente capacitado para análises das questões ambientais e energéticas.

Este artigo, portanto, está dividido em quatro seções, assim sumarizado: a primeira, faz uma revisão bibliográfica a respeito dos argumentos teóricos que justificam a utilização de mercados de carbono nas

<sup>4</sup> Um sistema para a negociação de créditos de carbono no âmbito do MDL já foi implantado na Bolsa de Mercadorias e Futuros, denominado Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (SEROA DA MOTTA, 2011).

políticas climáticas e dos trabalhos que mensuraram os potenciais impactos da implementação de mercados de carbono. O capítulo 2 exemplifica as principais experiências internacionais quanto a mercados de carbono regionais ou nacionais, com destaque para o mercado de carbono da União Europeia. O capítulo 3, por sua vez, apresenta o modelo utilizado e base de dados. E o último capítulo, detalha as simulações mostrando as principais implicações para o Brasil da implementação de um mercado internacional de carbono.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos econômicos dos mercados de carbono e seu papel nas políticas de mudanças climáticas

A questão ambiental entrou definitivamente na agenda de pesquisa dos economistas na década de 60, quando projeções catastróficas acerca do esgotamento dos recursos naturais evidenciaram a ausência nos modelos econômicos de aspectos ambientais. (MEADOWS *et alii*, 1972; MAY *et alii*, 2003). Recentemente, o efeito estufa, ou aquecimento global é um dos temas predominantes no âmbito da Economia do Meio Ambiente. Alguns pesquisadores afirmam que a magnitude do impacto desse fenômeno é suficiente para mudar largamente o clima na Terra e afetar intensamente algumas regiões, países e continentes. A escala do impacto saiu da dimensão local e regional para a escala mundial, visto que o aumento da temperatura e as modificações no clima são função do acúmulo das emissões históricas dos países, que elevaram as concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera. Além disso, os atores deixaram de ser “empresas poluidoras” e “habitantes de áreas de impacto direto e indireto” para envolver todo o sistema produtivo, demandando uma redefinição do padrão e do nível de consumo e mudanças no modelo energético.

Desde 2005, no âmbito das políticas de mudança climática, o debate em torno de planos e propostas de mitigação de gases de efeito estufa tem se intensificado. A mitigação tem o caráter de um “bem público”<sup>5</sup> global cujos benefícios atingem a todos, ao passo que os custos são repassados àqueles que financiam a mitigação. Em contraste com outros bens públicos, como segurança pública, benefícios da mitigação não são imediatos, e pelo contrário, só podem ser sentidos no futuro, o que compromete, muitas vezes, a implementação de políticas.

A redução de emissões de gases de efeito estufa tem sido buscada através de uma série de políticas governamentais que utilizam instrumentos econômicos (subsídios, taxas, isenção de impostos, mercados de carbono), regulatórios (limite de emissões, controle de emissão veicular) e também processos políticos.

Tradicionalmente, os instrumentos regulatórios têm sido mais frequentes na elaboração de políticas ambientais. Devido à natureza do problema, no qual gases como o CO<sub>2</sub> podem ser emitidos a partir de um grande número de fontes distintas, é especialmente complexo definir instrumentos regulatórios que alcancem um resultado efetivo de redução de emissões. Em geral, políticas de limitações são uniformes para diferentes fontes. Na prática, no entanto, os meios e custos de controle das emissões variam entre setores e empresas, muitas vezes substancialmente. A conjunção destes fatos, por conseguinte, implica maiores custos para o controle das emissões e esta circunstância leva a ineficiência. (UNCTAD, 2001; BEHR, 2009)

Em resposta aos limites da regulamentação ambiental para a questão das mudanças climáticas, abordagens baseadas em mecanismos de mercado têm sido amplamente discutidas. É o caso da taxa de carbono e de políticas de *cap-and-trade* ou simplesmente, mercado de carbono [e.g. Manne e Richels (1991), Nordhaus (1993) e Behr (2009)]. Nas duas últimas décadas, o comércio de emissões tornou-se cada vez mais popular como um instrumento de política ambiental para o controle da poluição atmosférica. O programa de *cap-and-trade* de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) dos EUA, por exemplo, iniciado em meados dos anos 90, é considerado como um caso bem sucedido no controle das emissões, obtendo substanciais ganhos de eficiência econômica se comparado a políticas de comando e controle, políticas estas baseadas em incentivo a novas tecnologias e padrões pré-determinados.

---

<sup>5</sup> Pela teoria econômica, bens públicos são aqueles bens cujos direitos de propriedade não estão completamente definidos e, portanto, suas trocas com outros bens acabam não se realizando eficientemente no mercado.

Os mecanismos de mercado podem ser efetivados sobre duas formas principais: i) aquelas destinadas a alterar o nível dos preços relativos (por exemplo, através de impostos) e ii) aqueles que atribuem “direitos de propriedade”. O mercado de carbono tem a vantagem de aliar estas duas formas economicamente mais efetivas para correção das externalidades, como é o caso das emissões de GEE.

Um imposto estabelece um preço para as emissões de CO<sub>2</sub>, partindo do pressuposto que esta elevação de preço relativo deveria resultar na redução das emissões. Uma alternativa para se garantir isso é dar aos agentes “direitos de propriedade” sobre a emissão de GEE. Os “direitos de propriedade” são alocados entre os agentes sob a forma de certificados ou licenças de emissão, criando uma nova mercadoria. A partir da alocação inicial, os agentes passam a transacionar tais licenças. O preço destes certificados é determinado endogenamente pelos mecanismos de mercado. A ideia contida no instrumento de *cap-and-trade* é que ele permite às diversas instituições (firmas, governos) comercializar licenças de emissão em excesso – emissões permitidas a elas, porém não utilizadas – com as outras que tenham excedido a sua capacidade de emissões. O comércio surge, então, pois as instituições enfrentam custos diferentes para o abatimento de emissões. A ideia de permissões negociáveis de emissão parte do pressuposto que “emissores com maiores custos de abatimento terão preferência por comprar algum tipo de permissão de emissão do que propriamente realizar o abatimento das emissões e vice-versa...”, permitindo o surgimento de um mercado potencial de certificados de redução de emissões (PEREIRA e MAY, 2003). O ponto forte da criação de um mercado de carbono é que os custos totais serão necessariamente menores para atingir um determinado nível de emissão, dado que uma maior parcela do abatimento estará sendo realizada por agentes mais eficientes e com menores custos (BAUMOL e OATES, 1988; HAHN e STAVINS, 1999; BEHER, 2007; REQUATE, 2005).

Outro ponto a favor deste mecanismo de mercado é que confere aos governos um instrumento de distribuição – a atribuição inicial de licenças – que estaria ausente em uma simples taxa de carbono (McKIBBIN e WILCOXEN, 2002). Esta alocação pode ser gratuita ou por leilão, e neste último caso gerar receitas para aplicação em outras políticas ou corrigir distorções. Além disso, a definição do imposto de carbono correto pela política envolve grandes dificuldades, pois implica estimar custos e benefícios da política.

Os sistemas de “*cap-and-trade*” ao estabelecer direitos de propriedade para as emissões, institucionalizam penalidades para os que não cumprem as metas acordadas. Com o estabelecimento de incentivos financeiros para o controle de emissões e flexibilidade para determinar como e quando as emissões serão reduzidas, a meta de emissões é obtida de maneira que minimiza os custos. Defensores da arquitetura de “*cap-and-trade*” também costumam destacar que o mecanismo é tecnologicamente neutro, deixando as decisões de investimento na redução de emissões para o mercado e não para a esfera política (BEHR, 2009).

Neste contexto, políticas de precificação de carbono forçam as atividades emissoras e combustíveis fósseis a internalizar os custos de suas emissões, permitindo que os custos do aquecimento global e da degradação ambiental sejam efetivamente levados em conta pelos agentes econômicos em seus processos de tomada de decisão. Um amplo conjunto de trabalhos estuda medidas de incentivo desse tipo [e.g. Baumol e Oates (1988), Tietenberg (1990) e Stavins (1997)].

Em anos mais recentes, a literatura tem se debruçado em estudar aspectos concernentes à mudança climática. Em particular, a partir da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima em 1992 (UNFCCC, 2001), a demanda por estudos que analisassem políticas de mitigação e seus custos aumentaram sensivelmente, associado também a maior efetividade das negociações internacionais, que necessitavam de informações acerca dos aspectos econômicos das políticas climáticas. A teoria econômica tem desenvolvido modelos com o propósito de avaliar os impactos do aquecimento global e das políticas de resposta a esta mudança. Inúmeros estudos tentaram quantificar os custos das metas acordadas no Protocolo de Quioto e também estimar a importância do mercado de carbono para seu cumprimento.

Nordhaus (2008) estima que o preço do carbono no mercado mundial em 2025 poderia ir de US\$ 53,15 (no caso do fortalecimento do protocolo de Kyoto, com a participação dos Estados Unidos e da China)

a US\$264,73 se a meta de redução de emissões acordada fosse de 90%. O IPCC, com base em uma revisão de modelos, argumenta que preços de carbono na faixa de 20 a 50 US\$/tCO<sub>2</sub>, alcançados globalmente de 2020 a 2030 poderiam representar significativas reduções de emissões até meados do século XXI consistente com a estabilização em torno de 550 ppm CO<sub>2</sub>-e, se implementadas de forma estável e previsível (IPCC, 2007). Num trabalho mais recente, Del Elzen *et alii* (2009) mede os custos e preços de carbono para cenários com diferentes metas de redução de emissões. Os custos globais da mitigação abrangem reduções no PIB mundial em torno de -0.10 a -0.44% em 2020 com preços de carbono variando entre US\$26 a US\$88/tCO<sub>2</sub> (dólares de 2005).

Revisões de literatura sobre modelos de projeção que buscaram avaliar os impactos do mercado de carbono dentro dos moldes do Protocolo de Quioto podem ser encontradas em Weyant (1996), Springer (2003) e Clarke *et alii* (2009). Conforme aponta Springer (2003), diferentes tipos de modelos assim como diferentes projeções de crescimento de emissões são as principais razões pelas quais se encontra uma ampla diferença entre os resultados. Um resultado comum a todos os estudos, entretanto, e ponto favorável a políticas do mercado de carbono é o alcance das metas do Protocolo a um custo econômico menor.

Os modelos cobertos por Springer (2003), por exemplo, mostram estimativas de preços de carbono mundiais que diferem consideravelmente, variando de US\$ 3/tCO<sub>2</sub> a US\$ 74/tCO<sub>2</sub> (a preços de 2000), sob um cenário comum, em que apenas países do Anexo 1 comercializam permissões. O custo marginal tem uma redução considerável quando se aplica o cenário de comércio entre todos os países, com a possibilidade inclusive de mecanismos de flexibilidade. Neste caso, o preço do carbono se situa entre US\$ 1/tCO<sub>2</sub> a US\$ 22/tCO<sub>2</sub>, com um maior volume de permissões negociadas. Na revisão de estudos realizada por Clarke *et alii* (2009)<sup>6</sup>, por sua vez, os custos de uma política de carbono global para manter o nível de 550 ppm de CO<sub>2</sub>-e, podem variar entre 3.8 trilhões de dólares a 64.5 trilhões (2005), dependendo do cenário e modelo utilizados. O preço do carbono, por sua vez, estaria entre \$4/tCO<sub>2</sub> a \$256/tCO<sub>2</sub> a preços de 2005 em 2020. Além disso, os países em desenvolvimento, com especial atenção aos BRICs (Brasil, Rússia, Índia, China), podem se beneficiar de ganhos substanciais em um cenário em que sejam incluídos no comércio de emissões. Estimativas apontam ganhos potenciais de cerca de US\$ 10 trilhões. Isto poderia ser um incentivo suficiente para que os países em desenvolvimento participassem ativamente do comércio de permissões de emissões com metas obrigatórias, em vez de participar apenas do comércio mais restrito do MDL (Tol, 2009). Soma-se a este ganho uma significativa redução de emissões globais com a inclusão do China no mercado de carbono, embora nas estimativas também se verifique uma diminuição do bem-estar nesse país (KEMFERT e KREMERS, 2003).

Vários trabalhos analisaram o efeito da não ratificação do Protocolo pelos EUA em 2001 [e.g. Bohringer (2002), Hagem e Holtmark (2001), Loschel e Zhang (2002), Kemfert (2001), Manne e Richels (2001), Nordhaus (2001) e Buchner *et alii* (2002)]. A ausência de maior comprador potencial de licenças reduz o preço das permissões para um valor próximo a zero em 2010 num cenário de comércio internacional de certificados. Den Elzen e de Moor (2002), por sua vez, concluem que a saída dos EUA teve um grande impacto sobre a efetividade ambiental do Protocolo de Quioto.

A literatura sobre os desdobramentos da efetivação de um mercado de carbono para o Brasil ainda é muito pequena<sup>7</sup>. 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 encontrados nos trabalhos de Feijó e Porto Júnior (2008) e Barbier *et alii* (2003). O trabalho de Feijó e Porto Júnior (2008), pode ser tomado como referência pois utiliza diferentes cenários de comercialização de permissões mundiais no âmbito do Protocolo de Quioto para avaliar os efeitos sobre o Brasil, a partir do modelo GTAP-E, com dados para o ano de 1997. Cinco

<sup>6</sup> A revisão de trabalhos propostos por Clarke *et alii* (2009) cobre os modelos desenvolvidos no âmbito da EMF 22.

<sup>7</sup> 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 alii* (2003), Ferreira filho e Rocha (2007), Silva e Gurgel (2010), Margulis e Dubeux (2010)].

diferentes cenários foram utilizados para mensurar os impactos de políticas de mercado de carbono: o primeiro simula o comércio mundial de emissões; o segundo analisa os resultados sem a participação dos EUA e comércio de emissões apenas entre países do Anexo 1; o terceiro, por sua vez, estima os impactos do Protocolo sem o comércio de emissões; no quarto há a inclusão dos países em desenvolvimento no comércio mundial através dos mecanismos de flexibilidade e por fim, um cenário que avalia o comércio de emissões entre o Anexo 1 incluindo os EUA. 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. Este resultado também é corroborado pelo estudo de Barbier *et alii* (2003), os quais apontam um aumento de bem-estar da implementação de um sistema de *cap-and-trade* mundial no qual o Brasil se insere vendendo direitos de permissão através dos mecanismos de flexibilidade, como o MDL. Em termos quantitativos, este aumento é da ordem de 0,45% em 2015<sup>8</sup>. Este resultado pode ser entendido como uma evidência do potencial brasileiro como vendedor de certificados de redução de emissões em um contexto de mercado de carbono global. O presente trabalho se diferencia dos anteriores por considerar as metas mais recentes propostas no Acordo de Copenhague, inclusive dos países em desenvolvimento que anteriormente não tinham se comprometido com metas de redução de emissões. Assim, nas simulações, a hipótese é que, num futuro acordo global, esses países passem a ser considerados como países integrantes do Anexo 1, no sentido de terem metas obrigatórias, ou pelo menos voluntárias de redução de emissões. Além disso, este artigo utiliza a versão e os dados mais recentes disponíveis (2004) do modelo GTAP-E.

Para exemplificar a importância crescente do mercado de carbono e a relevância do estudo desta questão, a subseção seguinte identifica as principais experiências práticas das políticas de redução de emissões pelo mundo, apontando algumas características e resultados já alcançados.

## 2.2 Experiências práticas das políticas de redução de emissões com mercado de carbono

Embora o ambiente regulatório internacional permaneça incerto, o Protocolo de Quioto lançou as bases para um mercado global de carbono, constituído por iniciativas nacionais e locais que têm visivelmente se mostrado como um potencial para superar a lacuna de regulamentação internacional. Vários destes mercados se integram aos mecanismos de flexibilidade regulamentados pelo Protocolo de Quioto, tais como o MDL e Implementação Conjunta (IC). Os mercados de carbono de escala regional têm crescido em importância, servindo como exemplo para novas propostas. Em geral, nessa dimensão, o comércio de permissões é realizado entre firmas do setor energético, notadamente. A proliferação recente de iniciativas nacionais ou regionais no sentido de criação de mercados de carbono atesta a elevada prioridade política dada a este instrumento, como reconhecimento das suas vantagens de eficiência econômica e como instrumento indutor à inovação tecnológica e a uma economia de baixo carbono (PEREIRA e GUTIERREZ, 2010).

A mais proeminente destas iniciativas é o mercado de carbono da União Européia (EU-ETS, acrônimo em inglês de “*European Union’s Emission Trading System*”). Dada sua dimensão e complexidade institucional, a EU ETS tem sido tomada como o “Grande Exemplo” para programas baseados no mercado de mitigação (KRUGER e PIZER, 2004). Com preços das permissões variando em média entre €10 e €30/tCO<sub>2</sub> desde o lançamento do programa (2005), o valor das licenças emitidas ao ano é de cerca de €22 a €66 bilhões, valor muito acima dos programas anteriores de comércio de emissão de óxido de nitrogênio – NO<sub>x</sub> - (€1.1 bilhões) ou de dióxido de enxofre - SO<sub>2</sub> - (€2.8–8.7 bilhões) que foram bem-sucedidos nos EUA (GRUBB e NEUHOFF, 2006).

---

<sup>8</sup> A medida de bem-estar é baseada na variação equivalente de renda.

Quando o sistema foi lançado em janeiro de 2005, sua primeira fase englobou unidades industriais em 15 Estados Membros da UE, representando cerca de 45% das emissões de dióxido de carbono da Europa. Atualmente, conta com os 27 estados membros além de Irlanda, Noruega e Liechtenstein e espera reduzir o total de emissões em 21% em 2020 comparado aos níveis de 2005. (CCEC, 2007; EU, 2009). Em termos de abrangência setorial, o sistema cobre cerca de 12.000 unidades nos setores de geração de energia e indústria. A partir de 2012 é esperada a inclusão das emissões originadas do setor de aviação e transporte. Até 2010, as emissões de GEE dos setores cobertos pelo esquema caíram em média 8,3% desde o início do sistema em 2005 (EU, 2011). Como resultado, as empresas do setor energético começaram a integrar o custo de carbono em suas decisões de investimento, incluindo tecnologias de baixo carbono, como turbinas a gás, carvão de alta eficiência e energia eólica (WORLD BANK, 2010).

Nos Estados Unidos, uma série de sistemas de comércio de emissões foi proposta a nível nacional, embora nenhuma delas tenha sido adotada. Algumas propostas ainda estão em análise no Congresso Americano como o “*Climate Security Act*” (*Lieberman-Warner bill*) e “*American Clean Energy and Security Act*” (*Waxman-Markey Bill*). Embora na esfera nacional nenhum plano tenha se estabelecido, à nível regional pode-se encontrar iniciativas para consolidar um sistema de comércio de permissões de emissões nos EUA. Uma delas é a “*Iniciativa Regional de Gases de Efeito Estufa*” (RGGI - *The Regional Greenhouse Gas Initiative*) que é um esforço cooperativo entre os estados de Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New York, Rhode Island e Vermont. A meta é reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético em 10% até 2018 e está operando desde 2008. Em 2009, este mercado de carbono transacionou um volume de 805 tCO<sub>2</sub> no valor total de quase US\$ 2,2 milhões, a um preço médio de US\$3.3/ tCO<sub>2</sub>e significativamente menor se comparado ao preço das permissões da EU-ETS (FLASCHLAND *et alii*, 2008; MACE *et alii*, 2008; WORLD BANK, 2010) .

Já o Chicago Climate Exchange (CCX) é uma bolsa autorreguladora que administra o primeiro mercado voluntário a negociar direitos de emissão de GEE tanto entre diferentes países quanto setores. Criado em 2003, as empresas associadas à CCX comprometeram-se em diminuir em 4% as emissões de GEE em 2006, em relação aos níveis de 1998. Desde sua criação o mercado vinha crescendo de forma consistente, mas sofreu um declínio de 40% no volume de comércio em 2009 (de 69 tCO<sub>2</sub>e para 41 tCO<sub>2</sub>e). Os preços caíram acentuadamente, passando de US\$ 4,8 / tCO<sub>2</sub>e para US\$ 0,8/ tCO<sub>2</sub>e (WORLD BANK, 2010).

Planos para a introdução de sistemas de comércio de emissões domésticos também estão em andamento em outros países. Na perspectiva de médio prazo, o surgimento de novos mercados regionais potencializa as discussões acerca da interligação de tais mercados, notadamente com o da União Européia.

Em 2008, a Nova Zelândia lançou seu sistema de comércio de emissões de GEE (NZ ETS), que particularmente abrange o setor florestal. Em 2010, o sistema foi expandido para cobrir as emissões de combustíveis fósseis e também da indústria. Para 2013, está previsto a inclusão do setor agropecuário e de resíduos sólidos. Este é o primeiro mercado a abranger o setor de mudança no uso da terra. O mercado está em funcionamento e tem se mantido relativamente estável, com preços das permissões variando entre NZ\$17 (€9.34) e NZ\$22 (€12.1)<sup>9</sup> (FLASCHLAND *et alii*, 2008; WORLD BANK, 2010).

Na Austrália, a nível estadual, várias iniciativas estão em vigor, incluindo o “*New South Wales Greenhouse Gas Reduction Scheme (GGAS)*”, que se iniciou em janeiro de 2003. É um dos primeiros regimes de *cap-and-trade* de emissões de GEE do mundo e visa reduzir as emissões associadas à produção e ao uso de eletricidade. Atualmente, está sendo discutido a possibilidade de interligação com outros mercados de carbono, tal como a EU-ETS. Este mercado movimentou cerca de US\$ 117 milhões em 2009.

No Canadá, mercados locais de carbono já podem ser encontrados. O “*Greenhouse Gas Reduction (Cap and Trade) Act 2008*”, por exemplo, inclui as províncias de British Columbia e Ontario e possibilita a interligação do sistema de emissões a outros mercados de carbono.

A área metropolitana de Tóquio (Japão) lançou em abril de 2010 seu próprio sistema de comércio de emissões, que tem como alvo escritórios, edifícios comerciais (incluindo universidades) e o setor industrial. O regime abrange cerca de 1.400 instalações, apesar de representar apenas 1% das emissões do país.

E por fim, ainda em fase bem preliminar, está programado o lançamento, em 2013, de projeto-piloto de comércio de emissões entre seis províncias da China com o objetivo de expansão a nível nacional até 2013.

A tabela 2 resume a evolução dos mercados regionais de carbono durante o período de 2007 a 2009.

**Tabela 2 - Evolução dos Mercados Regionais de Carbono – 2007-2009**

	2007		2008		2009	
	Volume (MtCO <sub>2</sub> -e)*	Valor (US\$ milhões)	Volume (MtCO <sub>2</sub> -e)	Valor (US\$ milhões)	Volume (MtCO <sub>2</sub> -e)	Valor (US\$ milhões)
Mercado de permissões						
EU ETS	2060	49065	3093	100526	6326	118474
NSW	25	224	31	183	34	117
CCx	23	72	69	309	41	50
RGGI	-	-	62	198	805	2179
AAUs	-	-	23	276	155	2003
Subtotal	2108	49361	3278	101492	7361	122823
Mecanismos de flexibilidade						
MDL primário	552	7433	404	6511	211	2678
IC	41	499	25	367	26	354
Mercado voluntário	43	263	57	419	46	338
Subtotal	636	8195	486	7297	283	3370
Total	2744	57556	3764	108789	7644	126193

Fonte: World Bank (2009, 2010). NSW, New South Wales Greenhouse Gas Abatement Scheme; CCX, Chicago Climate Exchange; RGGI, Regional Greenhouse Gas Initiative;

### 3. MODELO GTAP-E E BASE DE DADOS

O modelo GTAP-E (*Global Trade Analysis Project – Energy*) é uma extensão da estrutura teórica padrão do modelo GTAP (HERTEL, 1997), desenvolvido para analisar questões relacionadas ao uso de energia e efeitos de políticas de mitigação da mudança climática. Como diferencial, o modelo inclui mecanismos de substituição entre diferentes fontes de energia<sup>10</sup> (i.e. carvão, petróleo cru, gás natural, produtos derivados do petróleo) na estrutura tecnológica e uma especificação de comércio internacional para as emissões de gases de efeito estufa (GEE). É possível simular, por exemplo, as metas de emissões obrigatórias dos países classificados no Anexo 1, como acordadas no Protocolo de Quioto [ver Burniaux e Truong (2002)].

#### 3.1 Emissão de carbono

O modelo GTAP-E está bem documentado em Burniaux e Truong (2002) e McDougall e Golub (2007) e por isso o propósito aqui é discutir brevemente apenas a modelagem de emissões. Neste modelo, as

<sup>10</sup> Na estrutura de produção, por exemplo, os insumos energéticos são divididos entre dois grupos: elétricos e não-elétricos. No primeiro composto, existe uma substituição imperfeita entre a eletricidade doméstica e a importada (e entre as regiões importadas). O outro composto (não elétricos) subdivide em mais duas classes: carvão e outros combustíveis. No composto de carvão há efeitos de substituição entre doméstico e importado, enquanto que em “outros combustíveis” é possível a substituição imperfeita entre gás natural, petróleo e derivados do petróleo. Derivados do petróleo também é um composto com efeitos de substituição entre doméstico e importado.

emissões são calculadas a partir da variação do uso de combustíveis fósseis em unidades físicas (toneladas de petróleo equivalentes – toe) e as emissões associadas de CO<sub>2</sub> (toneladas de carbono) nos setores do modelo. As informações de emissões são atualizadas conforme as variações percentuais do crescimento de CO<sub>2</sub> na região,  $r = 1, \dots, N_r$ , pela commodity sujeita a um imposto de carbono,  $i = 1, \dots, N_i$ , (i.e. variável  $gco2^{ri}$ ). Esta atualização resulta na soma das emissões ( $CO2^{rj}$ ) de cada uso pelos  $N_i$  combustíveis fósseis e das  $N_r$  regiões, ou seja:

$$CO2^{ri} * gco2^{ri} = \sum_{j=1}^{N_j} CO2_{FM}^{ijr} * gco2_{FM}^{ijr} + \sum_{j=1}^{N_j} CO2_{FD}^{ijr} * gco2_{FD}^{ijr} + CO2_{GD}^{ir} * gco2_{GD}^{ir} \\ + CO2_{GM}^{ir} * gco2_{GM}^{ir} + CO2_{PD}^{ir} * gco2_{PD}^{ir} + CO2_{PM}^{ir} * gco2_{PM}^{ir} \quad (1)$$

em que  $CO2_{FM}^{ijr}$  e  $CO2_{FD}^{ijr}$  correspondem as emissões oriundas do uso da firma  $j$  por  $N_i$  combustíveis fósseis importados (M) e domésticos (D) em cada região;  $CO2_{GD}^{ir}$  e  $CO2_{GM}^{ir}$  representam as emissões geradas pelo consumo do governo por  $i$  (D e M) em cada país  $r$ ; e  $CO2_{PD}^{ir}$  e  $CO2_{PM}^{ir}$  são as emissões produzidas pelo consumo privado. A variação percentual de cada uso é captada pelas variáveis escritas em letra minúsculas dos coeficientes correspondentes (e.g.  $gco2_{GD}^{ir}$  é do coeficiente  $CO2_{GD}^{ir}$ ). Além disso, assume-se que as variações percentuais das emissões são proporcionais ao uso (e.g.  $gco2_{FD}^{ijr} = qfd^{ijr}$ ). Diante de (1) é possível definir o total de emissão por região  $r$  da seguinte maneira:

$$CO2T^r * gco2t^r = \sum_{i=1}^{N_i} CO2^{ri} * gco2^{ri} \quad (2)$$

Inicialmente, a condição de equilíbrio entre o total de emissão ( $CO2T^r$ ) e a quota de emissão ( $CO2Q^r$ ) por região é satisfeita conforme a calibragem dos dados. Entretanto, se um país estiver no bloco ( $b$ ) de países com permissão de comercialização da quota de emissão, as variações percentuais destes dois coeficientes poderão ser diferentes à medida que políticas de mudança climática são simuladas (i.e.  $gco2t^r \neq gco2q^r$ ). A diferença entre essas duas variáveis fornece o poder de compra de emissão individualizada para cada país, definido pela variável  $pemp^r$ :

$$pemp^r = gco2t^r - gco2q^r \quad (3)$$

Em (3), se  $gco2q^r$  for definida como exógena e  $pemp^r$  como endógena, logo a variação de emissões ( $gco2t^r$ ) estará desassociada com a quota em cada país. Diante disto, nos países, mesmo àqueles com licenças de comércio de emissão, poderá existir divergências entre a quantidade e quota de emissão.

Não obstante, no nível do grupo ( $b$ ), o equilíbrio entre o total de emissão ( $gco2tb^b$ ) e a quota de emissão ( $gco2qb^b$ ) deve ser mantido. Desse modo, os países pertencentes ao bloco  $b$  comercializam as emissões sujeita a esta restrição de equilíbrio, de forma que, ao contrário de  $pemp^r$ , o poder de compra de emissão ao nível do grupo, análogo a equação (3), é fixo ( $pempb^b$ ). Em geral, se um país é parte de um esquema de comércio de permissão de emissões (grupo  $b$ ), o custo marginal de abatimento de carbono nominal é igualado à variação do equilíbrio do custo marginal de abatimento para o grupo de países pertencentes ao mercado de emissões.

O ambiente econômico no modelo (fechamento) classifica quais variáveis serão endógenas ou exógenas para a análise das políticas de redução do CO<sub>2</sub>. As restrições quantitativas das emissões de CO<sub>2</sub> são inseridas no modelo tornando-se endógeno o imposto real sobre o carbono (deflacionado pelo deflator do PIB). Para estabelecer o comércio de emissões, identifica-se, primeiramente, o grupo de países aos quais as restrições serão impostas. A variável que representa o crescimento das emissões totais deve tornar-se exógena e assumir o valor da restrição total, ao mesmo tempo em que a variável que representa o custo marginal do abatimento, correspondente ao grupo como um todo, deverá ser endógena ao modelo (Feijó e Porto Júnior, 2009). Ademais, a soma da balança comercial e dos fluxos líquidos de carbono deve ser zero, de modo que o saldo líquido investimento-poupança permaneça inalterado.

Os agentes econômicos que utilizam as commodities energéticas relacionadas aos combustíveis fósseis pagam um imposto sobre o uso das mesmas. Dessa maneira, o imposto nominal de carbono,  $NCTAXB^c$ , infla os preços dos agentes. Por exemplo, para o preço doméstico ( $pdf^{ijc}$ ) das  $N_j$  firmas pelo uso do produto  $i$  no país  $c$  tem-se:

$$pdf^{ijc} = SHVDFANC^{ijc} * pm^{ijc} + 100 * CO2DFVDF A^{ijc} * NCTAXB^c \quad (5)$$

em que  $SHVDFANC^{ijc}$  representa a parcela do valor livre para a taxaço de carbono (exclui o valor de importação);  $pm^{ijc}$  corresponde ao preço de mercado (incluso os impostos diretos e indiretos);  $CO2DFVDF A^{ijc}$  se refere à intensidade de carbono (razão entre a quantidade total de carbono e valor bruto da produção).

A comercialização de permissão à emissão de CO<sub>2</sub> entre países também submete a incidência do imposto nominal de carbono. A receita líquida do comércio de emissão ( $DVCO2TRA^c$ ) pondera o imposto nominal de carbono ( $NCTAXB^c$ ) pela diferença entre o valor das vendas de quotas de emissão para outros países do grupo  $b$  ( $CO2Q^c$ ) e o total de emissão de carbono emitido por um país ( $CO2T^c$ ). Este fluxo comercial de carbono ( $DVCO2TRA^c$ ) e a diferença entre exportação e importação de bens e serviços ( $DTBAL^c$ ) formam a balança comercial do país ( $DTBALCTRA^c$ ).

### 3.2 Base de dados

A base de dados do GTAP descreve detalhadamente o comércio bilateral, transporte e proteção que caracterizam as ligações econômicas entre os países, levando em conta também as interdependências setoriais das matrizes de insumo-produto de cada região. Para este trabalho, usou-se os dados disponíveis da versão 7 do GTAP, inclusive os dados de emissão de CO<sub>2</sub><sup>11</sup>. A versão original do modelo GTAP compreende 57 setores produtivos (commodities) e 113 países no ano de 2004 (BADRI e WALMSLEY, 2008). Diante do objetivo deste trabalho, as dimensões desta versão original foram agregadas<sup>12</sup> para 8 setores (Agricultura, Carvão, Petróleo, Gás Natural, Produtos derivados do Petróleo, Eletricidade, Indústrias Intensivas em Energia e Outras Indústrias e Serviços) e 12 regiões, sendo elas: Brasil, China, Índia, Indonésia, Estados Unidos, União Europeia, Japão, Rússia, Europa Oriental e Países da Antiga União Soviética, Outros países do Anexo 1, Países Exportadores de Petróleo e Resto do Mundo. Posteriormente, aplicou-se esta base de dados ajustada à calibragem do modelo GTAP-E (BURNIAUX e TRUONG, 2002).

Foi também necessária uma adequação das quantidades físicas de emissão de carbono, a partir dos dados disponibilizados por Lee (2008). Esses dados, compatíveis com a versão 7 do GTAP, fornecem as

<sup>11</sup> Os dados apenas consideram as emissões de CO<sub>2</sub>. A falta de consenso sobre a conversão dos demais GEE e disponibilidade de informações dificultam seu uso nos modelos em geral.

<sup>12</sup> Usou-se o software GTAPAgg, um programa que auxilia a preparação das bases de dados em modelos GTAP.

emissões dos gases de efeito estufa em giga-gramas da queima de combustíveis fósseis por *commodities* em cada país. Dessa forma, em consonância com o modelo GTAP-E, as unidades físicas foram convertidas de giga-gramas para milhões de toneladas de carbono. A partir desses novos valores, realizou-se uma distribuição entre as fontes de uso (doméstica e importada). Para tanto, adotou-se a hipótese que a alocação das toneladas de carbono segue a estrutura de uso dos agentes econômicos por combustíveis fósseis (i.e. firmas, famílias e governo). Esta segunda etapa foi necessária, uma vez que os dados de emissões obtidos na versão 7 do GTAP estavam apenas desagregados por *commodities*, usuários e regiões. Vale ainda ressaltar que a base de dados das emissões de CO<sub>2</sub> foi calculada sobre o volume de energia do GTAP de acordo com o método Tier 1 da versão revisada de 1996 do IPCC (IPCC/OCDE/IEA, 1997; LEE, 2008).

Nota-se, conforme a Tabela 3, que quase 50% do total de emissão de carbono se concentram em três países: Estados Unidos (23%), China (16%) e União Europeia (12%). A participação do Brasil é relativamente pequena visto que a base de dados não leva em conta as emissões produzidas pelas mudanças do uso da terra e florestas.

**Tabela 3- Toneladas de carbono por região e por combustíveis fósseis (ano 2004) – em milhões.**

Países	Carvão	Petróleo	Gás	Derivados do petróleo	Total
<b>Brasil</b>	6	0	12	64	81
<b>Estados Unidos</b>	554	0	432	669	1655
<b>União Européia</b>	191	0	267	438	896
<b>Japão</b>	68	4	51	175	299
<b>Rússia</b>	85	3	239	97	423
<b>Europa Oriental</b>	155	2	155	103	415
<b>Restante do Anexo I</b>	78	0	86	126	290
<b>China</b>	912	8	37	247	1204
<b>Índia</b>	190	0	18	82	289
<b>Indonésia</b>	23	0	25	49	97
<b>Exportadores de Petróleo</b>	24	0	219	266	509
<b>Resto do Mundo</b>	247	16	253	413	929
<b>Total</b>	2533	33	1794	2729	7087

Fonte: Elaboração própria com base no banco de dados do modelo GTAP-E

O modelo considera apenas emissões derivadas do uso de energia e de combustíveis, dada a disponibilidade desta informação para todos os países. Todavia, isso não compromete o objetivo deste estudo, haja vista que políticas de mercado de carbono, conforme demonstrado nas experiências práticas, recaem sobre as indústrias do setor energético num primeiro estágio de implementação, notadamente ao considerar-se às perspectivas de um mercado de carbono com liderança da União Europeia, que responde pela mais proeminente iniciativa.

#### 4. SIMULAÇÕES E RESULTADOS PARA O BRASIL

O Brasil tem se mostrado atuante no tocante às negociações climáticas globais. O país foi o primeiro a assinar a Convenção sobre a Mudança do Clima, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, e propôs também sua participação voluntária, por meio de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que consiste no financiamento de projetos que “resultem em reduções certificadas de emissão (CERs)” (UNFCCC, 2001).

O Brasil foi pioneiro ao registrar o primeiro projeto MDL da história, e a partir daí continuou a ser um dos países mais atuantes nessa área. Até janeiro de 2011, dos 7092 projetos desenvolvidos no mundo, o Brasil possuía 477 projetos (7% do total), ocupando a terceira posição, atrás de China (2729 projetos) e Índia

(1938)<sup>13</sup>. O MDL parece ter alcançado resultados satisfatórios no Brasil. Um total de 415 projetos brasileiros desenvolvidos no âmbito desse mecanismo reduzem anualmente aproximadamente 7,5% das emissões não florestais brasileiras (MIGUEZ et alii., 2010). Soma-se a isto que o país tem acumulado uma experiência em energias renováveis, especialmente em bioenergia, o que potencializa as oportunidades em projetos de MDL (MCT, 2008). Assim, o país posiciona-se como um dos maiores fornecedores mundiais de créditos de carbono, mesmo com a aplicabilidade reduzida do MDL.

No Brasil já existem mecanismos de mercado de carbono para o fomento de projetos do MDL. A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) lançou as bases para a implantação de um sistema para a negociação de créditos de carbono na Bolsa de Mercadorias e Futuros (BmeF), denominado Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) (SEROA DA MOTTA, 2010).

Existe a expectativa de que um mercado de carbono no Brasil tenha grande potencial para garantir e facilitar o cumprimento das metas voluntárias de emissão estabelecidas com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei no 11.187/2009) de 36,1% a 38,9%<sup>14</sup> de redução de emissões de GEE, relativamente a um cenário de referência de emissões para 2020.

Entretanto, até o início de 2012 nenhuma ação que envolva a implantação de mecanismos de mercado foi proposta<sup>15</sup>. A proposta brasileira se concentra basicamente em medidas de controle do desmatamento e de regulamentação e incentivo. A meta nacional de redução de 38,9% é baseada na contribuição da redução do desmatamento (-24,7%), ao passo que os 15,2% restantes são divididos nos setores energético (7,7%), agropecuário (6,1%) e outros (0,4%). Porém, conforme indicam as tendências de aumento das emissões, principalmente do setor energético e de transportes (ver Gouvello et alii, 2010 e Seroa da Motta, 2010), esta meta pode não ser efetivamente cumprida. Para 2030, por exemplo, as emissões projetadas do setor energético são de um aumento de 97% ou mais do que 25% das emissões nacionais (GOUVELLO et alii, 2010). Há, pois, espaço para políticas mais efetivas, como o mercado de carbono, que envolvam o setor energético, por exemplo, e que auxiliem o cumprimento da meta brasileira.

Para ilustrar os efeitos de um mercado de carbono na economia, este artigo efetua um conjunto de simulações, com o objetivo de comparar os ganhos de um mercado de carbono integrado regionalmente e globalmente. Nesta seção, são apresentados os resultados de simulações de inserção do Brasil no mercado de carbono global. Para isso, utilizou-se o modelo de equilíbrio geral computável GTAP-E desenvolvido especialmente para análise de políticas ambientais como taxação de carbono e sistemas de comércio globais de créditos de carbono. Para este artigo, o modelo GTAP-E foi configurado para a inclusão de países em desenvolvimento, como os BRICs, e o banco de dados foi atualizado para o ano de 2004, versão mais recente disponível.

As simulações representam a inclusão dos países em desenvolvimento (Brasil, China, Índia e Indonésia<sup>16</sup>) e a Rússia num contexto pós-Quito com metas obrigatórias e comércio de emissões. Em anos recentes, estes países têm figurado entre os maiores emissores de GEE e, por isso, têm sido chamados a uma posição ativa nas negociações globais de combate à mudança do clima.

As metas propostas na COP-15 serviram de base para as simulações deste estudo, uma vez que representam um esforço de comprometimento oficial dos países em desenvolvimento em relação à mitigação do aquecimento global e, portanto, se configuram como um cenário de metas provável dentro de uma nova negociação internacional. O quadro 1, dessa forma, especifica essas metas.

---

<sup>13</sup> Retirado do relatório “Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo”. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/30317.html>

<sup>14</sup> As metas foram definidas de acordo com diferentes cenários de crescimento setoriais.

<sup>15</sup> Conforme dispõe o Decreto nº 7.390/2010 (2010) e a proposta do Brasil em Copenhague (Brasil, 2010) que associou os planos da PNMC às ações de mitigação por setores.

<sup>16</sup> A Indonésia foi incluída por apresentar uma estrutura de emissões semelhante a do Brasil, onde mudança no uso da terra e florestas coloca o país como um dos principais emissoras de GEE.

**Quadro 1 - Metas propostas no Acordo de Copenhague (COP-15) para 2020.**

Países	Metas propostas na COP-15 para 2020
Austrália	5% a 25% de redução em relação aos níveis de 2000
Brasil	36,1 a 38,9% de redução nas emissões em relação a um cenário "business as usual"
Canadá	17% de redução em relação aos níveis de 2005
China	40% a 45% de redução na intensidade de emissões em relação aos níveis de 2005
Estados Unidos	17 % de redução em relação aos níveis de 2005
Índia	20% a 25% de redução na intensidade de emissões em relação aos níveis de 2005
Indonésia	26% de redução nas emissões em relação a um cenário "business as usual"
Japão	25% de redução em relação aos níveis de 1990
Nova Zelândia	20% de redução em relação aos níveis de 1990
Rússia	25% de redução em relação aos níveis de 1990
União Européia	20% a 30% de redução em relação aos níveis de 1990

Fonte: UNFCCC (2011).

Três cenários foram definidos nas simulações para mensurar os impactos de políticas de mercado de carbono e suas implicações sobre o Brasil:

- i) O primeiro considera apenas políticas de carbono domésticas (taxação de carbono), no qual os países se esforçam para cumprir suas respectivas metas de redução de emissões, denominado nas simulações como “Mercados nacionais isolados”. Neste caso, não é considerada a possibilidade de mecanismos de flexibilidade, como MDL. Os países em desenvolvimento apresentam metas de redução de emissões conforme proposto no Acordo de Copenhague.
- ii) O segundo cenário avalia a possibilidade de comércio de licenças de emissão entre os países do Anexo 1 do Protocolo de Quioto e os BRICs, simulando um “Mercado de carbono internacionalmente restrito”. Neste caso, é assumido que os países em desenvolvimento também participam do mercado de carbono, fazendo um esforço para o cumprimento de suas metas voluntárias.
- iii) O terceiro cenário simula o comércio de emissões global, no qual todos os países transacionam licenças ou créditos de redução. Apenas os países inclusos nos grupos de Países exportadores de petróleo (EEx) e no Resto do Mundo (Resto do Mundo) não apresentam metas de redução de emissões, embora possam participar do mercado de carbono através dos mecanismos de flexibilidade acordados no Protocolo de Quioto.

As metas de emissões das simulações estão relacionadas com as metas propostas no Acordo de Copenhague, calculadas a partir de uma proporção em relação ao nível de emissões decorrentes do uso de combustíveis e do setor energético em cada país. As metas são expressas como uma redução relativa em relação aos níveis projetados de 2020, como menciona a proposta brasileira. Para tal, foram necessários ajustes nas metas de redução de emissões para os países, a fim de compatibilizar as metas do setor energético às metas nacionais dos países a partir da participação do setor nas emissões totais. Dessa forma, os choques foram definidos com base nos dados de emissões do *Climate Analysis Indicator Tool*<sup>17</sup>, que possibilita a obtenção de dados setoriais para os países emissores. A meta simulada para o caso brasileiro tomando como base a meta nacional de 38,9% representa uma redução de 13,7% das emissões do setor energético em relação a 2020.

<sup>17</sup> O aplicativo está disponível no site <http://cait.wri.org/> (Acesso 14 de Novembro de 2011)

Os resultados obtidos devem ser considerados qualitativamente, uma vez que consideramos apenas emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas ao uso de energia e simulações em um modelo de estática-comparativa<sup>18</sup> com metas de redução relativas, mas fornecem *insights* importantes acerca dos impactos e vantagens de integração de um possível mercado de carbono brasileiro a um mercado de carbono global.

Os resultados das simulações devem ser interpretados como desvios em relação à situação em 2020, que representa um cenário sem políticas de carbono. Dessa forma, dado o escopo do trabalho serão apresentadas as variáveis mais relevantes em termos de política, tais como preços do carbono, impactos sobre PIB real e bem-estar *per capita* e variações reais das emissões.

A tabela 4 reporta os custos marginais de redução de emissões para o alcance das metas propostas, ou seja, o preço que se estabeleceria no mercado de carbono de cada país nos três cenários. A primeira coluna de resultados da tabela mostra os resultados do primeiro cenário, no qual os países devem cumprir suas metas de emissões a partir de políticas domésticas (mercados regionais de carbono isolados). O Japão, neste caso, apresenta o maior custo marginal para alcance da meta, enquanto Índia e Indonésia se configuram como os países de menores custos. O Brasil está numa posição intermediária com custos em torno de US\$ 127 por tonelada de carbono abatida.

**Tabela 4 - Preços de carbono para diferentes alternativas de arranjos de comercialização (US\$ por tonelada, ano base 2004)**

Regiões	em dólares de 2004 por tonelada de carbono		
	Mercados Nacionais Isolados	Mercado de Carbono Internacional Restrito	Mercado de carbono global
Brasil	126.51	85.67	67.8
Estados Unidos	69.23	85.29	67.5
União Européia	147.31	85.51	67.7
Japão	171.41	85.56	67.7
Rússia	84.84	85.41	67.8
Europa Oriental	0	84.6	67.1
Restante do Anexo I	122	85.72	67.8
China	116.02	85.43	67.7
Índia	50.19	85.08	67.5
Indonésia	41.57	85.07	67.5
Exportadores de Petróleo	0	0	67.6
Resto do Mundo	0	0	67.7

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo GTAP-E.

O modelo assume a equalização dos custos marginais de emissão se os países participam do comércio de emissões, como nas duas simulações de mercado de carbono na Tabela 4. Isto pode ser observado nas simulações que representam um mercado de carbono internacional restrito e também nas simulações de um mercado global. O controle de emissões, no caso destas políticas, é realizado a um menor custo, conforme aponta a literatura. Vale notar que no caso brasileiro o preço do carbono que emerge de um mercado isolado (US\$126,5) é significativamente maior se comparado ao mercado de carbono global (US\$67,8), conforme a hipótese apontada pela literatura. Nesta última alternativa há a possibilidade de compra e venda de créditos de carbono que auxiliam o país no cumprimento da meta de redução de emissões.

Ao se impor limitações a emissões, necessariamente existem perdas na atividade econômica, pois esta passa a internalizar os custos de emissões de GEE, principalmente através do encarecimento das commodities de energia e, em consequência, pela redução de seu uso. O que os mercados de carbono possibilitam é que

<sup>18</sup> Simulações de modelos de equilíbrio geral computável em estática comparativa ignoram aspectos relacionados à trajetória rumo a um novo equilíbrio. Entretanto, é possível apontar os resultados finais da implantação completa da política analisada.

estas perdas sejam os menores possíveis. O resultado de impacto das políticas de mercado de carbono sobre o Produto Interno Bruto (PIB) dos países pode ser observado na Tabela 5.

China e Rússia representam os maiores custos em termos de crescimento econômico, dada a alta intensidade de carbono nas respectivas matrizes energéticas. Para a maioria dos países, os custos em termos de redução no PIB são minimizados quando considerado um cenário em que um mercado de carbono global é implementado, especialmente para economias carbono-eficientes, como a europeia e japonesa. Para o caso do Brasil, os custos relativos de uma política de carbono variam entre reduções de -0,13% a -0,30% do PIB, em relação ao que se observaria em 2020 sem essa política, um custo considerado relativamente baixo, especialmente ao considerar-se a alternativa de um mercado global.

**Tabela 5 - Impacto sobre o PIB real de políticas de redução de emissões – desvios em relação a 2020**

Regiões	% PIB real		
	Mercados Nacionais Isolados	Mercado de Carbono Internacional Restrito	Mercado de carbono global
Brasil	-0.3	-0.21	-0.13
Estados Unidos	-0.15	-0.23	-0.14
União Européia	-0.64	-0.13	-0.04
Japão	-0.28	-0.13	-0.07
Rússia	-1.47	-1.86	-1.39
Europa Oriental	0	-0.7	-0.46
Restante do Anexo I	-0.34	-0.25	-0.16
China	-1.97	-1.58	-1.09
Índia	-0.31	-0.77	-0.49
Indonésia	-0.05	-0.23	-0.13
Exportadores de Petróleo	0.09	0.09	-0.3
Resto do Mundo	0.09	0.07	-0.27

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo GTAP-E.

Além da mensuração em termos do PIB, o modelo permite ainda captar os efeitos sobre o bem-estar *per capita*. O indicador de bem-estar é calculado com base na variação equivalente da renda do consumidor (EV), que reflete a diferença entre a despesa requerida para obter o novo nível de utilidade aos preços iniciais (YEV) e o nível de utilidade disponível no equilíbrio inicial (Y), ou seja,  $EV = YEV - Y$ . Em termos dos efeitos sobre o bem-estar, os resultados indicam quedas de -0,26% a -0,35% para o Brasil (Tabela 6). Estes valores correspondem, em termos monetários, a uma redução de R\$ 8,65 a R\$ 11,90 *per capita* (a preços de 2004)<sup>19</sup>, o que sinaliza o baixo custo de uma política de redução de emissões de GEE.

<sup>19</sup> Medida de câmbio utilizado: Paridade de poder de compra (1,31 R\$/US\$). Dado retirado do site <http://www.ipeadata.gov.br/>. Acesso em 25 de fevereiro de 2012.

**Tabela 6 - Efeitos sobre o bem-estar *per capita* de políticas de redução de emissões – desvios em relação a 2020**

Regiões	% Utilidade*		
	Mercados Nacionais Isolados	Mercado de Carbono Internacional Restrito	Mercado de carbono global
Brasil	-0.35	-0.29	-0.26
Estados Unidos	-0.09	-0.09	-0.07
União Européia	-0.23	-0.11	-0.04
Japão	-0.22	-0.12	-0.05
Rússia	-1.69	-2.13	-2.16
Europa Oriental	0.04	0.65	0.64
Restante do Anexo I	-0.54	-0.47	-0.44
China	-2.07	-1.88	-1.73
Índia	-0.22	-0.21	-0.18
Indonésia	-0.15	0.05	-0.15
Exportadores de Petróleo	-0.57	-0.53	-0.77
Resto do Mundo	-0.21	-0.20	-0.23

\* per capita

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo GTAP-E.

A Tabela 7 apresenta o resultado de redução de emissões em cada alternativa de mercado de carbono. A título de comparação mostra-se, para cada alternativa, o impacto da inclusão dos BRICs entre os países com metas mandatórias de redução de emissões e também os efeitos de vazamento conhecidos na literatura como “*carbon leakage*”. Esta taxa mensura o crescimento das emissões em outros países em razão da imposição de restrições de emissões nos países que participam do mercado de carbono. Este crescimento é provocado pelos efeitos de competitividade e pelas reações dos preços nos mercados mundiais de energia.

**Tabela 7 - Redução real das emissões com políticas de redução de emissões - desvios em relação a 2020**

Regions	% Redução nas emissões					
	Mercados Nacionais Isolados		Mercado de Carbono Internacional Restrito		Mercado de carbono global	
	BRICs sem metas de redução	BRICs com metas de redução	BRICs sem metas de redução	BRICs com metas de redução	BRICs sem metas de redução	BRICs com metas de redução
Brasil	1.1	-13.7	1.0	-9.7	-3.4	-7.4
Estados Unidos	-16.9	-16.9	-18.6	-19.7	-8.6	-16.5
União Européia	-19.7	-19.7	-12.2	-12.9	-5.1	-10.3
Japão	-21.4	-21.4	-12.2	-12.8	-5.0	-10.0
Rússia	-24.1	-24.1	-22.8	-24.2	-10.6	-20.3
Europa Oriental	2.8	3.1	-21.5	-22.8	-10.0	-19.0
Restante do Anexo I	-23.7	-23.7	-17.8	-18.8	-8.3	-15.7
China	0.5	-40.0	0.4	-34.5	-17.6	-30.2
Índia	0.5	-24.8	0.4	-32.6	-17.7	-28.9
Indonésia	1.4	-7.4	1.2	-14.6	-5.7	-11.6
Exportadores de Petróleo	1.4	1.8	1.2	1.6	-5.2	-10.8
Resto do Mundo	1.6	2.3	1.4	2.2	-6.4	-12.6
Anexo I	-17.1%	-22.1%	-17.4%	-22.3%	-7.9%	-18.9%
Não Anexo I	1.0%	2.1%	0.9%	2.0%	-11.5%	-11.9%
Taxa "Carbon Leakage"	6.2%	3.4%	4.0%	2.3%	-	-

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo GTAP-E.

Logo, considerando o cenário de mercados nacionais isolados, por exemplo, no qual os BRICs não apresentam metas de redução de emissões, a redução de 1 tonelada de carbono nas emissões dos países do Anexo 1 representariam um aumento de 6.2 toneladas no conjunto de países não pertencentes ao grupo. A redução das emissões no Anexo 1, neste caso, é principalmente alcançada devido a redução do consumo de commodities sujeitas ao imposto de carbono nestes países. Consequentemente, o efeito é uma queda nos preços mundiais, em particular para as commodities derivadas do petróleo. Isto, em contrapartida, incentiva o consumo nos países Não-Anexo 1, o que provocaria um aumento das emissões para este conjunto de países. Para o Brasil, especificadamente, a não efetivação de uma política de controle de emissões resultaria em elevação de emissões dados os efeitos de vazamentos de carbono das políticas nos demais países. A inclusão dos BRICs com metas de redução implicaria em redução desta taxa de 6,2% para 3,4%.

Outro ponto a salientar é que um mercado de carbono global sem os BRICs com metas obrigatórias teria pouco efeito de redução de emissões, comparativamente ao mercado global com os BRICs.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como intuito analisar os impactos de cenários prováveis pós-2012 da implementação de mercados de carbono no Brasil. Dentro desta perspectiva, três cenários foram simulados: mercados nacionais isolados, mercado de carbono internacionalmente restrito e mercado de carbono global. Para tal, utilizou-se o modelo de equilíbrio geral GTAP-E, capacitado para a análise das questões ambientais.

É necessário assinalar que, além das simulações, foi realizada a análise de sensibilidade dos parâmetros e dos choques de redução de emissões. As variações indicaram que os resultados são robustos à mudança dos parâmetros e elasticidades de substituição. Contudo, os resultados se mostraram bastante sensíveis às restrições (metas de redução) impostas sobre as emissões de CO<sub>2</sub>. Portanto, é necessário cautela para se fazer inferências a respeito dos efeitos encontrados sobre o bem-estar e crescimento econômico.

Assim, tendo em vista as metas de redução de emissões propostas pelo Acordo de Copenhague, os resultados obtidos sugerem que as políticas ambientais de controle da emissão de gases de efeito estufa tendem a afetar negativamente o crescimento e bem-estar econômico dos países. Todavia, como os impactos se referem a desvios em relação a 2020, pode-se concluir que tais custos não são significativos, sugerindo que não há um *trade-off* relevante entre crescimento econômico e preservação ambiental – aqui entendido como a mitigação do aquecimento global. Isto corrobora os debates em busca de negociações climáticas globais e da efetivação de instrumentos econômicos mais eficientes para a redução das emissões.

As simulações apontam ainda, como sugere a literatura visitada neste trabalho, que a alternativa com maior redução de emissões e menor custo econômico é a de um mercado de carbono global. Esta deveria ser uma meta de longo prazo que a política de mudanças climáticas no Brasil deveria perseguir.

Em termos metodológicos, como agenda de pesquisa para trabalhos futuros, busca-se o aperfeiçoamento e minimização das limitações do modelo de equilíbrio geral utilizado. Uma destas limitações é a análise em estática comparativa que ignora aspectos relacionados à trajetória rumo a um novo equilíbrio. Um avanço natural é a utilização cada vez mais intensa dos modelos de dinâmica recursiva que incorporam cenários de referência, acumulação de capital e defasagens no mercado de trabalho, por exemplo. Outra questão importante é a incorporação dos demais gases de efeito estufa e a consideração das demais atividades emissoras de GEE, que para o Brasil, representam parcela mais relevante nas emissões do país. Este é o caso das atividades da agropecuária e mudança no uso da terra e florestas.

## REFERÊNCIAS

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.

BOHRINGER, C. Climate Politics From Kyoto to Bonn: From Little to Nothing?, *The Energy Journal*, 23 (2), 2002, pp. 51-71,

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. *Status Atual das Atividades de Projeto no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no Mundo*. 2011. (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/30317.html>)

BUCHNER, B., CARRARO, C., CERSOSIMO, I. Economic consequences of the US withdrawal from the Kyoto/Bonn Protocol. *Climate Policy* 2, 2002, pp. 273–292.

BURNIAUX, J. M.; TRUONG, P. T. *GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model*. GTAP Technical Paper n°. 16 (Revised), 2002.

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.

den ELZEN, M., de MOOR, A. Analysing the Bonn Agreement and Marrakesh Accords: economic efficiency and environmental effectiveness. *Ecological Economics* 43, 2002, pp. 141–158.

den ELZEN, M., HOHNE, N., van VLIET, J. Analysing comparable greenhouse gas mitigation efforts for Annex I countries. *Energy Policy* 37, 2009, pp. 4114–4131.

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)*, 51, 2009, pp. 127-154.

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](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. *Climate Policy* 6, 2006, pp.7–30.

HAGEM, C. HOLTSMARK, B. From Small to Insignificant: Climate Impact of the Kyoto Protocol with and without US. CICERO Policy Note 2001:1, Center for International Climate and Environmental Research, Oslo.

- 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.
- International Energy Agency - IEA. *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2009*. Edition IEA, Paris. 2009.
- HERTEL, T. ed. *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press, New York, 1997.
- KEMFERT, C., Economic impact assessment of alternative climate policy strategies. University of Oldenburg, 2001.
- KEMFERT, C.; KREMERS, H. A computable general equilibrium assessment of a developing country joining an Annex B emission permit market. Scientific Pool of Environmental Economic Disciplines (SPEED), Germany, 2003. Disponível em: <<http://www.vwl.uni-oldenburg.de/download/KempfKremers.pdf>> Acesso em 15 de novembro de 2011.
- 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.
- LEE, H. L. The Combustion-Based CO2 Emissions Data for GTAP Version 7 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, 2008, pp 1–44.
- LOSCHEL, A. ZHANG, Z.X. *The Economic and Environmental Implications of the US Repudiation of the Kyoto Protocol and the Subsequent Deals in Bonn and Marrakech*. *Weltwirtschaftliches Archiv* 138(4), 2001, pp.711-746.
- 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.
- MANNE, A.S., RICHELIS, R. *U.S. Rejection of the Kyoto Protocol: The Impact on Compliance Costs and CO2 Emissions*. Stanford, CA: Stanford University Mechanical Engineering and Electric Power Research Institute, 2001.
- MANNE, A; RICHELIS, R. Global CO2 Emissions Reductions: The Impacts of Rising Energy Costs. *Energy Journal* 12, 1991, pp. 87-107.
- MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- McDOUGALL, R., GOLUB, A. *GTAP-E Release 6: A Revised Energy-Environmental Version of the GTAP Model*. GTAP Technical Paper, 2007.
- McKIBBIN, W., WILCOXEN, P. The role of economics in climate change policy. *Journal of Economic Perspectives* 16, 2002, pp.107–129.
- MEADOWS, D., RANDERS, J., BEHRENS, W. *Limites do Crescimento: Um Relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade*. Perspectiva, São Paulo, 1972.
- 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.

- NORDHAUS, W. D. *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven: Yale University Press. 2008a.
- NORDHAUS, W. D. *Economic Analyses of Kyoto Protocol: Is There Life After Kyoto? In: Global Warming: Looking Beyond Kyoto*, (Ed.) Ernesto Zedillo. Washington, DC: Center for the Study of Globalization, Yale University and Brookings Institution Press, 2008b, .pp. 91-100.
- NORDHAUS, W. D. *Global warming economics*. *Science* 294, 2001, pp. 1283–84.
- NORDHAUS, W. *Rolling the DICE: The Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases*. *Resource and Energy Economics* 15, 1993, pp. 27-50.
- 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.
- PEREIRA, M.B.G., GUTIERREZ, S. Do MDL às NAMAs: perspectivas para o financiamento do desenvolvimento sustentável brasileiro. *Boletim Regional, Urbano, e Ambiental*, Brasília, Ipea, n. 4, p. 47-56, 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.
- SEROA DA MOTTA, R. Aspectos regulatórios das mudanças climáticas no Brasil. *Boletim Regional, Urbano, e Ambiental*, Brasília, Ipea, n. 4, p. 33-38, jul. 2010
- 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 Perspective*, 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](http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf))
- 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.
- 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.