

Carbono

TCC/UNICAMP
So89c
1290004343/IE



1290004343

TCC/UNICAMP
So89c
IE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
UNICAMP
DEZEMBRO 2009

CEDOC - IE - UNICAMP

**Crédito de Carbono – um estudo comparativo entre as
políticas cap-and-trade e carbon tax.**

CEDOC - IE - UNICAMP

João Ricardo Trevisan de Souza

Orientador: Ademar Ribeiro Romeiro

Ademar Ribeiro Romeiro

Sumário

Sumário	I
Índex de figuras	II
Introdução	1
1. Revisão das Principais Análises e Modelos sobre o Aquecimento Global	2
1.1. Política do Aquecimento Global	12
2. Características Físicas do Aquecimento Global e Cenários Futuros	16
2.1. Agricultura	18
2.2. Indústria e Sociedade	21
2.3. Saúde	24
3. Modelos de Redução de Emissões	31
3.1. Taxa Harmonizada	34
3.2. <i>Cap-and-trade</i>	35
3.3. Taxa Harmonizada versus <i>Cap-and-trade</i>	36
4. Conclusão	46
4.1. Possibilidades de um Modelo Híbrido	49
Bibliografia	51

Índex de figuras

Figura 1: Custo Marginal Redução de Emissões -----	7
Figura 2: Diagrama IAM-----	10
Figura 3: Concentração de Gases do Efeito Estufa-----	17
Figura 4: Volatilidade de Preços -----	39
Figura 5: Quadro Comparativo <i>Cap-and-trade</i> e Taxa -----	44
Figura 7: Variação da Temperatura de 1860 à 2000 -----	47

Introdução

A mudança na temperatura média da Terra afetará drasticamente a vida de todos ao redor do mundo, incluindo problemas como acesso a água, produção de alimentos e saúde. Utilizando-se de modelos econômicos avançados, o relatório elaborado pelo economista Nicholas Stern para o governo britânico aponta que, caso nada seja feito, os efeitos catastróficos do aumento da temperatura custaria no mínimo 5% (no máximo 20%) do PIB global por um período de tempo indeterminado. Por outro lado, os custos de agir contra o problema – essencialmente reduzindo a emissão de gases estufa - poderiam limitar-se a 1% do produto global por ano.

Diante deste cenário, duas alternativas complementares surgem: adaptar-se ao novo ambiente e reduzir as emissões de Gases do Efeito Estufa. Sendo que a segunda alternativa, a redução, consiste no objeto de análise deste trabalho.

Os dois modelos analisados no decorrer deste trabalho serão: o *cap-and-trade* e o imposto harmonizado sobre as emissões. O primeiro método foi consagrado internacionalmente pelo Protocolo de Kyoto. Neste caso, as autoridades criam limites quantitativos às emissões e cabe aos países determinar o modo mais eficiente para atingir sua meta, sendo possível a transferência de cotas de carbono como no caso do mercado Europeu de carbono. A segunda possibilidade de precificação do carbono não possui uma experiência internacional, no entanto é aplicada dentro dos EUA e utilizada em mercados convencionais como as tarifas harmonizadas no comércio mundial e as taxas comuns da União Européia. Teoricamente esta taxa aplica o conceito do imposto Pigouviano, isto é, incorpora a externalidade (poluição) ao cálculo do custo deslocando a curva de oferta e conseqüentemente diminuindo as emissões.

Por fim, o objetivo do trabalho é determinar qual o modelo de redução das emissões de gases de efeito estufa adapta-se melhor as características ambientais, econômicas e políticas mundiais.

1. Revisão das Principais Análises e Modelos sobre o Aquecimento Global

A agenda do debate da economia do meio ambiente pode ser dividida em duas correntes principais, como caracteriza Romeiro (2001), a primeira é nomeada Economia Ambiental (o main stream neoclássico) e considera que os recursos naturais não representam, a longo prazo, um limite à expansão da economia uma vez que o progresso tecnológico sempre será grande o suficiente para mudar a base de recursos da economia. No caso de bens não transacionados no mercado (ar, água, capacidade de absorção de rejeitos e etc.), os mecanismos, de mercado que permitem a ampliação indefinida dos limites ambientais ao crescimento econômico, falham. A solução ideal seria, então, aquela que criasse meios para o mercado funcionar livremente, através de uma negociação coaseana que eliminasse o caráter público destes bens ou por meio de uma taxa pigouviana que determinasse um ponto de poluição ótima através da relação entre os custos marginais de controle da poluição e os custos marginais da degradação.

Por outro lado, a segunda corrente chamada Economia Ecológica considera o sistema econômico como uma parte de um sistema maior que o contém, e sendo assim há um limite absoluto para a sua expansão. Romeiro (2001) apresenta como principais críticas à primeira corrente a não avaliação da imprevisibilidade com que os impactos ambientais evoluem devido aos efeitos sinérgicos, a resiliência e as reações defasadas. Desta forma, o ponto de poluição ótima não é um equilíbrio ecológico, mas sim, econômico. Conseqüentemente, essa corrente defende a adoção de limites quantitativos à emissão de poluentes, pois essa consiste na única forma de atingir as metas estipuladas.

Dentre outros tópicos tratados tanto pela Economia Ambiental como a Ecológica está aquele que será o foco deste trabalho, a economia do aquecimento global. Este debate teve início no final da década de 1970 através dos estudos do professor da Universidade de Yale William D. Nordhaus. Foi ele

quem elaborou as questões chave da agenda de discussões em torno do aquecimento global e que perduram até hoje. As questões são:

- 1) Qual o volume de emissões de CO₂ que provocará alterações significativas no clima global?
- 2) Qual o máximo volume de emissão que podemos reduzir?
- 3) Qual será o custo de implantação e manutenção de um programa que reduza eficientemente
- 4) Como podemos coordenar o processo de redução de emissões sendo que este deve ser um programa de ordem global?

Em seus estudos, ao analisar o CO₂ como um bem comum e o aquecimento global como uma externalidade, logo chegou à conclusão de que a maneira mais eficiente de atacar o problema é precificar o dióxido de carbono, ou mais especificamente adotar uma taxa sobre as emissões e fazer com que o poluidor pague pela externalidade que esta causando. Na seqüência de seus trabalhos, Nordhaus elaborou estimativas de custos para distintas variações na temperatura assim como distinguiu diferentes formas de atingir uma meta de emissão sustentável. Finalmente, sugeriu que os esforços de redução deveriam começar de modo mais moderado e tornar-se mais agressivo com o passar do tempo, esta proposta ficou conhecida entre os integrantes do debate como *climate policy ramp*.

Anos mais tarde, na década de 1990, influenciados pela “Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento” sediada no Rio de Janeiro, desenvolveram-se novas abordagens, métodos e premissas para o estudo da questão e desenvolvimento de modelos complexos para estimar respostas para as questões propostas anteriormente.

Outro autor de destaque ao logo deste trabalho é o professor de Harvard Robert Stavins, porém diferentemente do autor comentado anteriormente, este pode ser classificado como pertencente à corrente Economia Ecológica. Em seu recente livro “A U.S.Cap-and-Trade System to Adress Global Climate Change” apresenta uma revisão do sistema adotado nos Estados Unidos para redução de SO₂. O modelo adotado pelos EUA neste caso, assim como o determinado pelo protocolo de Kyoto, vai na posição oposta da indicada pelo

pioneiro Willian Nordhaus e aplica uma meta quantitativa de emissões deixando o preço do carbono variar livremente de acordo com o estipulado pelo mercado.

Para além deste dois autores que representam os nomes mais proeminentes de cada uma das correntes de análise, o estudo da economia do aquecimento global abrange uma gama de autores e estudiosos. A seguir será apresentado alguns desses autores que notabilizaram-se pela apresentação de modelos de análise dos impactos econômicos das reduções, esses autores foram sintetizados por William R. Cline (1992) e representam os diferentes passos até a elaboração de um projeto bastante sólido e que foi utilizado como base no decorrer deste trabalho, o relatório IPCC (2007).

Alan S. Manne e Richard G Richels desenvolveram no começo dos anos 1990 um dos modelos mais influentes de custos da mitigação de emissões. O modelo utiliza como variáveis as fontes de energia disponíveis e futuras, e utiliza a premissa da não linearidade para descontar o valor da utilidade consumo para diferentes níveis de redução das emissões de CO₂. Primeiramente os autores dividem o mundo entre países desenvolvidos, em desenvolvimento e China, determinando uma taxa de crescimento do PIB decrescente até o ano de 2100, conseguindo desta maneira estimar o volume de emissões de cada região caso nada seja feito. Logo em seguida é determinado tetos de emissões também respeitando as diferentes áreas de modo que as emissões para o ano de 2030 sejam maiores em 15% comparadas com as de 1990. Para atingir esta meta de redução, os autores sugerem uma *climate policy ramp* de Nordhaus atingindo o valor máximo \$250 por tonelada de CO₂, este é o preço que, segundo o modelo, iguala os custos de produção através de um método poluente e os custos de produção através de um método que não colabore com o aquecimento global.

Os custos da redução acusados pelo modelo são diferentes de acordo com a região de análise, nos EUA seria crescente até o ano de 2030 quando se estabilizaria em 3% do PIB. O custo nos demais países desenvolvidos seria abaixo do custo nos EUA, cerca de 2%, devido ao maior desconhecimento com relação a possíveis fontes de petróleo e gás ainda não descobertos e devido a maior utilização de energia oriunda de usinas nuclear. Nos países em desenvolvimento, as perdas atingiriam um pico de 4% antes de estabilizarem-

se em 3%. E, por fim, a China é o país que mais sofreria com um custo de 8% do PIB em 2040 e atingindo mais de 10% em 2100; os altos custos estão diretamente ligados a base de energia fóssil chinesa, o carvão mineral e que seria custoso a este país restringir as emissões de carbono.

As críticas a esse modelos são das mais variadas formas. Primeiramente, os autores não incluem no cálculo dos custos a possibilidade de comércio internacional, cada região atua basicamente maximizando o uso de seus próprios recursos, enquanto que com este comércio se poderia atingir os mesmos objetivos a custos menores. Além disso, o custo de produção através de métodos que emitem carbono e os custos de métodos que não emitem CO₂ são obtidos de forma arbitrária, ou seja, não há um calculo para determinar estes preços até mesmo porque os autores não especificam quais métodos de produção poderiam superar o atual eficientemente.

Outro modelo de grande notoriedade dentro do estudo do aquecimento global é o desenvolvido por Edmonds e Reilly na década de 1980. O método consiste basicamente em uma estrutura para contabilizar e prever as emissões desde 1975 até 2100 com intervalos de 25 anos. Este modelo destaca-se dos demais pois foca essencialmente na necessidade de reduzir as emissões de carbono, preterindo a avaliação dos custos econômicos da disponibilidade de energia e da mudança na regulação.

O modelo divide o globo em nove regiões (EUA, países desenvolvidos da Europa, países desenvolvidos do oriente, economias planificadas da Europa, economias planificadas da Ásia, Oriente Médio, África, América Latina e Sul e Leste Asiático) e considera nove diferentes fontes de energia (petróleo, gás, óleo sintético, gás sintético, carvão mineral, biomassa, energia solar, energia nuclear e hidrelétricas). E utiliza preços dinâmicos para atingir o equilíbrio entre oferta e demanda da oferta de energia nas nove regiões do planeta. As emissões de carbono surgem a partir do equilíbrio atingido para as fontes de energia emissoras, ou seja, petróleo, gás e carvão mineral e o impacto dessas emissões no meio ambiente é determinado pelo coeficiente de retenção na atmosfera dado como 58%.

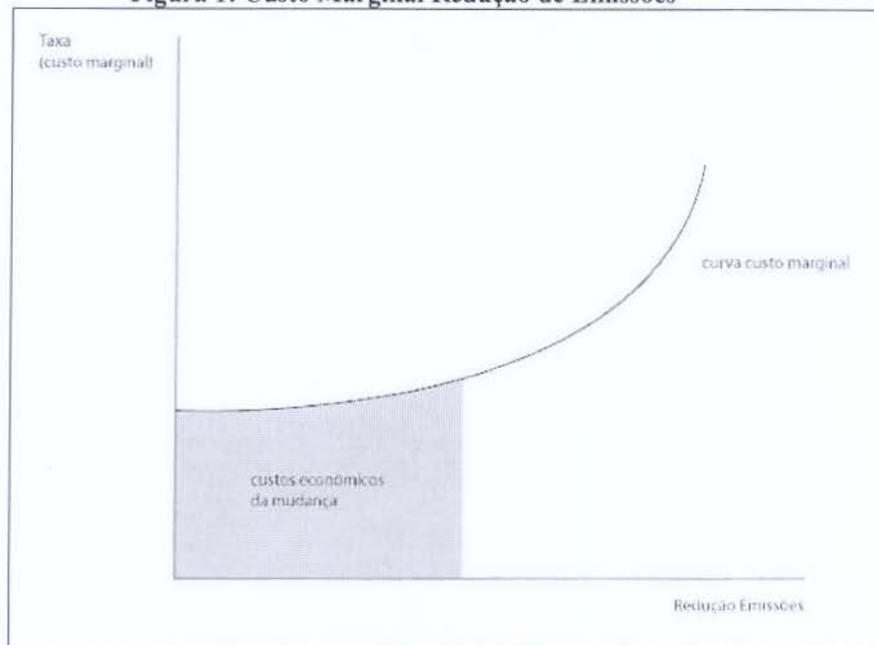
De acordo com os métodos utilizados pelos autores, entre os anos de 2047 e 2067 a concentração de CO₂ na atmosfera chegaria a 580ppm contra 379ppm medido em 2005. Foi aplicada, então, taxas a essas fontes de energia

de acordo com sua capacidade de poluir: ao carvão foi aplicado 100%, ao petróleo 78% e ao gás 57%. O resultado da aplicação desta taxa não foi nada otimista, sendo que o único efeito que ela produziu foi retardar a concentração de 580ppm em uma década. O principal motivo desse resultado insatisfatório foi que o valor moderado da taxa aplicada o valor de 100% sobre o carvão representava um valor de \$65 sobre a tonelada de CO₂, bem abaixo do \$250 proposto pelo modelo analisado anteriormente. Caso a taxa adotado sobre o carbono seja igual ao do modelo de Alan S. Manne e Richard G Richels a conclusão será exatamente a mesma, ou seja, as emissões irão se estabilizar, no entanto, como no modelo de Edmonds e Reilly não é inserido uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis, esta taxa deveria continuar crescendo gradualmente no tempo para manter o mesmo nível de emissões.

Por fim, foi introduzida uma nova função no modelo para suprir a falta da análise dos custos econômicos no estrangulamento do lançamento de poluentes na atmosfera. Como coloca Cline (1992), essa atualização foi feita por Edmonds e Barn e incluiu a taxa sobre o carbono como o custo marginal de qualquer corte nas emissões, sendo assim, uma taxa baixa provoca um corte baixo e uma taxa alta provoca um corte alto. Ao desenharmos o gráfico abaixo, a área abaixo da curva de custo marginal determina os custos econômicos da mudança. Ao fazer a análise para a estabilização do lançamento de carbono em 6,7 toneladas por ano, os autores chegaram a um custo de \$100 trilhão (a preços de 1989) para o ano de 2025 e um custo de \$0,7 (a preços de 1989) para o ano de 2050, isto representaria, de acordo com as estimativas de PIB futuro utilizadas, respectivamente 0,24% e 0,95% do produto global.

Ainda seguindo a sistematização elaborada por William R. Cline (1992), o terceiro modelo de grande influência foi elaborado Dale Jorgenson e Peter Wilcoxon, embora seja aplicado apenas aos EUA, o trabalho destes dois autores possui grande detalhe técnico e apresenta-se baseado em sólidos conceitos econômicos. As críticas centrais na sua aplicação prática está na falta de realismo de suas projeções econômicas e níveis de emissões, levando como consequência estimativas conservadoras para a redução do uso de carbono.

Figura 1: Custo Marginal Redução de Emissões



fonte: elaboração própria

O método de análise trata-se de um modelo dinâmico de determinação de equilíbrio. Os parâmetros foram obtidos através de estudos econométricos com base em dados de 1945 a 1985 de 35 diferentes setores da economia, e para cada setor é utilizado um fator endógeno para aumento da produção. De maneira geral, o crescimento da produtividade está negativamente correlacionada com o preço da energia, de modo que o aumento do preço do carbono, através de taxa, pode provocar desaceleração da produção.

Diferentemente dos outros modelos, neste caso, a evolução do PIB é uma variável endógena ao sistema, mas, a população é uma variável exógena. O PIB é projetado até o ano de 2050 e então congelado para os próximos 50 anos, a população, por sua vez, atingirá seu pico no ano de 2050. Como consequência direta dessas duas premissas, o produto dos EUA cresce muito pouco durante a primeira metade do século 21. Por este motivo, o volume de emissões anuais nos Estados Unidos no ano de 2050 fica reduzida a 1,67 toneladas de carbono, estimativa completamente fora da realidade considerando os dados que possuímos atualmente.

Os autores fazem três propostas de controle, congelar as emissões ao nível de 1990, o corte no ano de 2005 para 80% das emissões de 1990 e congelar ao nível de 2000. Os respectivos impostos adotados seriam \$15, \$42 e \$6 e as taxas de perda no produto seria 0,5%, 1,1% e 0,2%.

Esses mesmos dois autores propuseram um método diferente de ataque ao problema através da criação de um imposto sobre a energia utilizada e um imposto ad valorem. Em ambos os casos as perdas ao produto mostraram-se significativamente maiores do que no caso de um imposto diretamente sobre o carbono. No longo prazo, para reduzir o lançamento de carbono em 19,6 através de um imposto direto é necessário uma queda de 0,5% no produto. Para atingir a mesma meta utilizando-se de um imposto sobre a energia utilizada, as perdas somariam 0,6, caso o imposto seja ad valorem, a soma das perdas acumula 1%.

A conclusão mais valiosa que se retira dos estudos de Dale Jorgenson e Peter Wilcoxon, e que será discutida no capítulo de análise dos custos do aquecimento global, consiste na distribuição desigual dos custos da mitigação entre os países, sendo os países menos desenvolvidos os que enfrentarão as maiores perdas em seu produto. No mundo derivado das premissas utilizadas pelos autores, o crescimento econômico e das emissões nos países desenvolvidos serão tão baixos que não será necessário grandes esforços para reduzir as emissões a um nível que os cientistas julguem condizente com as capacidades de recuperação da atmosfera. Por outro lado, aqueles países em que as expectativas de crescimento são maiores que o crescimento atual, o corte deverá ser forte o suficiente para provocar grandes perdas a economia local, e esses países são justamente os que passam por maiores problemas econômicos na atualidade.

Por fim, cabe observar um último modelo que ganha destaque por usar como foco de análise um país em desenvolvimento. O modelo em questão foi desenvolvido no final da década de 1980 por Blizer, Eckaus, Lahiri e Meeraus e teve como base para desenvolvimento o Egito. O modelo considera quatro fontes de energia: petróleo cru, gás natural, derivados do petróleo e energia elétrica (que é produzida por hidrelétricas, gás e petróleo, mas a qualquer momento pode ser produzida por uma nova fonte). Há também seis setores (agricultura, manufatura, construção, transportes, serviços e importações que não competem com os produtos nacionais), o modelo maximiza a função utilidade do consumo para o período de 1987 até 2052. O crescimento do PIB utilizado na avaliação é de 4% até 2025 e 5% a partir deste ano, no entanto, o

caminho previsto para o crescimento das emissões de carbono não está especificado no modelo.

Foram desenvolvidos dois diferentes métodos de estudos utilizando este modelo, o primeiro consiste em determinar o volume de emissões a serem cortadas e utilizar o modelo para determinar as perdas; no segundo é permitido ao próprio modelo determinar quando as intervenções deveriam ser feitas.

Utilizando o primeiro método, para um corte de 30% nas emissões no ano de 1997 o produto cairia em 15% inicialmente, atingindo 25% em 2007 e reduzindo-se para entre 10% e 15% entre os anos de 2025 e 2050. Para o segundo método, o modelo atrasa todos os cortes das emissões para o fim da linha de projeção pois isto diminuiria as perdas, no entanto, isso levanta problemas de ordem política e econômica. A questão política recai sobre o comprometimento ou não de um político que assume seu cargo herdando a necessidade de fazer uma forte retração do lançamento de CO₂. A questão econômica está relacionada com a taxa de desconto usada que pode estar desajustada e, desta forma, causa distorções nos cálculos de estimativas de perdas.

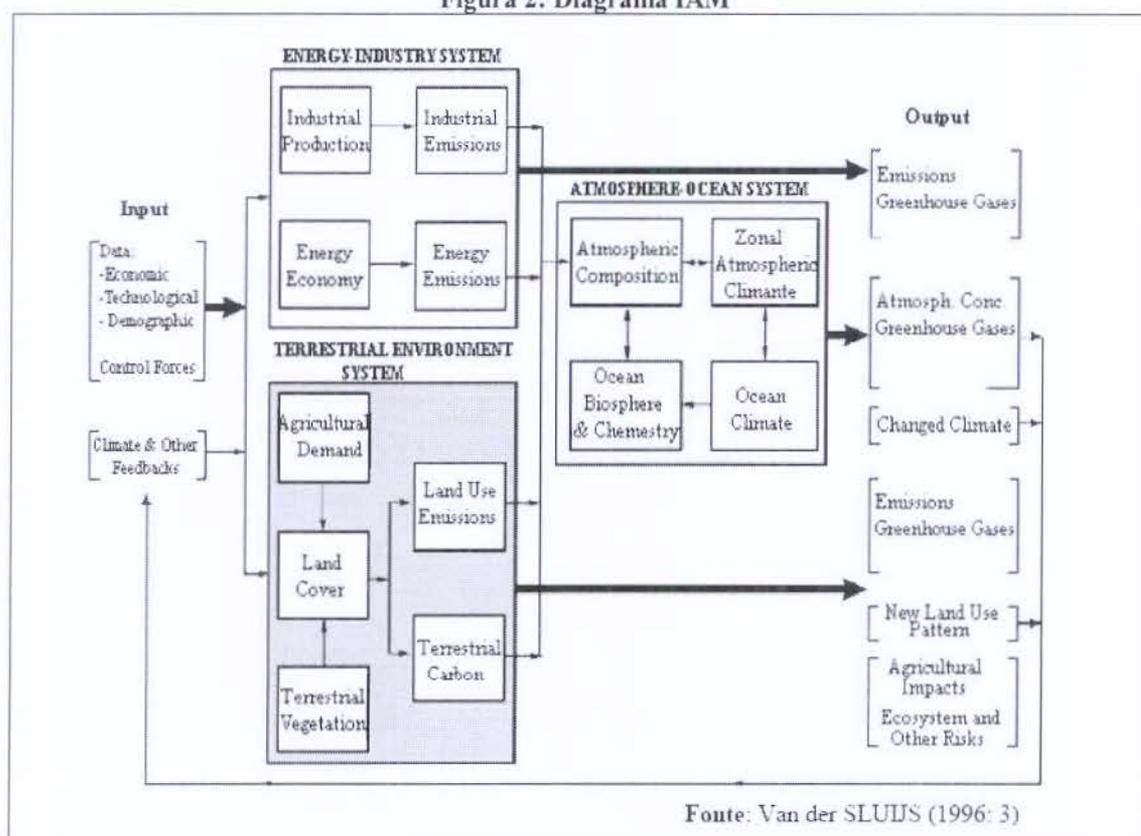
Numa interpretação alternativa a este modelo que aponta uma conclusão diferente, os autores Shah e Larsen conduziram estudos que demonstram que o caminho para países na mesma situação do Egito pode ter custos moderados. Segundo os autores, o simples corte nos subsídios para energia no país traria um corte de 25% nas emissões, isso graças ao corte de emissões que não são eficientes do ponto de vista econômico. Caso créditos internacionais sejam destinados ao país por causa da redução, a soma das perdas provocadas pela adoção de uma política contra o aquecimento global seria de cerca de 10%, bem abaixo dos números obtidos anteriormente com a utilização dos dois diferentes métodos.

A partir dos estudos e modelagens destes autores supracitados, a análise da economia do aquecimento global passou a incluir mais variáveis e premissas, numa cadeia que simula a linha de acontecimentos do aquecimento. Esses modelos são chamados de *integrated assessment models* (IAMs). O conjunto de equações utilizado por um IAM é o que determina a forma com que as variáveis se relacionam entre si, e desta forma, permite a estes modelos desenvolverem cenários futuros para as variáveis em discussão.

Os modelos diferenciam-se de acordo com seu objetivo, os de avaliação adotam uma determinada política e avalia seu efeito enquanto os de otimização maximizam a utilidade e através desta análise de maximização encontra-se a política ideal. Os modelos ainda são distinguidos entre estocásticos e deterministas, enquanto o primeiro modela o erro dentro das equações, o segundo adota o máximo de informações possíveis e determina os cenários mais prováveis estatisticamente.

Abaixo, encontra-se um diagrama elaborado por Van der Sluijs e retirado de Veiga & Vale (2007). Neste quadro é possível visualizar o efeito das diversas variáveis sobre o clima, e conseqüentemente sobre a economia e a sociedade. O objetivo da utilização deste quadro é ilustrar a complexidade de um IAM, o número de variáveis é grande e a forma como elas se correlacionam é bastante difuso, a alteração em uma variável no começo do processo pode gerar grandes mudanças no final da cadeia, ou seja, na economia e na sociedade.

Figura 2: Diagrama IAM



Os modelos IAM de mais destaque na atualidade é o DICE (*Dinamic Integrated Climate-Economy Model*) e o PAGE (*Policy Analysis of Greenhouse Effect*). O DICE foi desenvolvido ao longo de três décadas por Nordhaus e atualmente esta em sua quinta versão, este modelo, pode ser considerado como determinista e seu objetivo é tanto analisar a implementação de novas políticas como otimizar o resultado final para determinar qual método deverá ser adotado para minimizar os custos a sociedade. O PAGE foi criado pelo conjunto de países pertencentes a União Européia e tem como característica o tratamento das funções como estocásticas para a análises das conseqüências da implantação de uma política. Este modelo tornou-se notório, pois foi usado como base para os cenários derivados no *Stern Review on the Economics of Climate Change* produzido para o governo Britânico. Enquanto o DICE ganhou maior destaque dentre os diversos IAM graças a inclusão do capital natural como um dos constituintes do estoque de capital total, sendo o carbono um capital negativo e o desenvolvimento de técnicas mais limpas em CO₂ como um investimento para reduzir este capital negativo. A ligação entre o nível de aquecimento da economia e as emissões se dá através da variável temperatura global, que é determinada tanto por fatores não incluídos no modelo como pela concentração de carbono na atmosfera

A questão principal na divergência dos dois modelos esta na maneira como tratam o risco. Enquanto o PAGE estima uma perda maior no caso de incerteza maior, Nordhaus prefere não precificar a incerteza pois afirma não haver conclusões científicas que possibilitem determinar este preço. O grande volume de incertezas que existem em torno do tema é, com certeza, o que causa mais problemas à aqueles que se dedicam a desenvolver modelos. A dificuldade esta em se entender como o risco se espalha pelo modelo, pois a sobreposição dos diversos erros pode levar a um resultado final completamente equivocado.

Outro grande problema a ser resolvido por aqueles que desenvolvem os modelos IAMs é qual taxa deve ser usada para o desconto do tempo; esta taxa determina a importância relativa do consumo para cada geração, afetando diretamente as análises de maximização da utilidade. A taxa é de fundamental importância pois, dado o número elevado de períodos estimados, tem um efeito muito forte sobre as estimativas finais.

1.1. Política do Aquecimento Global

Antes de iniciarmos uma análise mais detalhada de um dos modelos matemáticos utilizados para o cálculo dos danos provocados pelo aquecimento global sobre a economia, é de suma importância levantar os pontos mais importantes da recente política do aquecimento global, pois, como veremos no decorrer do trabalho, este será um fator primordial para determinação de qual modelo oferece maior eficiência tanto econômica quanto ambiental.

Até o presente momento, a única resposta dada por grande parte das nações ao problema do aquecimento global é o Protocolo de Kyoto, cujos resultados mostraram-se fortemente abaixo do esperado por seus desenvolvedores. A razão deste fraco desempenho está, quase sempre, diretamente relacionada as decisões tomadas individualmente por cada uma das nações desenvolvidas.

A primeira batalha política esta focada no maior emissor dentre todos os países do globo, os EUA. A nação mais rica do mundo optou por não ratificar o acordo alegando que países em desenvolvimento, em especial Brasil, China e Índia, também eram em grande parte responsáveis pelas emissões e deveriam assinar o Protocolo. O contra-argumento utilizado por esses três países era bastante simples, os países desenvolvidos obtiveram seu crescimento baseados em fontes de energia que liberam grande quantidade de gás carbônico a um custo bastante barato, agora seria a vez de o terceiro mundo beneficiar-se desta mesma fonte. Além disso, é argumentado que os países mais desenvolvidos foram os responsáveis pela atual concentração de CO₂ na atmosfera, então é justificável que eles paguem por isso.

Nigel Lawson (2006) analisa como inviável qualquer alternativa de redução das emissões dos gases do efeito estufa sem a participação destes três países emergentes, pois, são exatamente eles que tendem a elevar seus volumes de poluentes lançados na atmosfera. Outra crítica do autor está na possível onda de transferência de empresas que dependem de muita energia, saindo da Europa e destinando-se a áreas que ainda apresentam energia a baixo custos, mudando apenas a localização geográfica da emissão mas não alterando o volume total de poluentes lançados anualmente.

A lógica implantada pelo acordo ratificado em Kyoto é elevar o preço do carbono de tal forma que os agentes sejam induzidos a utilizar métodos de produção que liberem menos dióxido de carbono independentemente do caráter paliativo deste novo método. No entanto, o que se viu está longe disso, a elevação nos preços ficou muito abaixo do nível mínimo para determinar esta mudança.

Esses dois pontos acima expostos somados ao fraco desempenho das reduções na Europa até o período recente, levanta uma importante dúvida sobre que medidas devem ser tomadas para atingir um resultado mais satisfatório após 2012, quando a vigência do Protocolo de Kyoto acaba. A resposta mais repetida a este questionamento é reafirmar a importância deste protocolo como a partida inicial para um projeto maior, o arranjo institucional criado pelo acordo entre os países desenvolvidos – com a exceção dos EUA-. O próximo passo agora se trata, como coloca Veiga e Vale (2007), de uma alteração no tabuleiro político que inclua a maior potência do globo dentro das limitações impostas. Uma possível solução seria a revisão para baixo das reduções. Além disso, os países emergentes também deveriam entrar de alguma maneira no processo, se não através das cotas, através do fim do desmatamento. Entretanto, outra resposta também pode ser dada à falta de eficiência do Protocolo: existe um grupo não pequeno de estudiosos e observadores que acreditam que a fragilidade do projeto vem justamente de suas bases que se originaram no Protocolo de Montreal (sobre a camada de ozônio) e em projetos de combate a chuva ácida. Ambos os projetos procuravam incentivar a utilização de tecnologias já existentes e englobavam um pequeno número de atores, no caso do acordo assinado em Kyoto, há uma imensa incerteza relacionada aos avanços tecnológicos e o número de países envolvidos chega a 170.

Uma série de movimentos autônomos ao que vier após 2012 é de suma importância para garantir a estabilização da concentração de CO₂ como coloca Veiga e Vale (2007):

- 1) Elevação do número de automóveis utilizando biocombustíveis e substituição de derivados do petróleo por hidrogênio obtido através de hidrólise.

- 2) Substituir as usinas convencionais a carvão e a gás por instalações capazes de capturar o carbono e bombeá-lo para o subsolo.
- 3) Estender a utilização de fontes alternativas de energia como a hídrica e a eólica.
- 4) Explorar a fonte geotérmica.
- 5) Criar soluções para o uso de energia nuclear e, posteriormente, ampliar o uso desta fonte.
- 6) Todos os outros movimentos devem estar amparados por uma forte redução nos padrões atuais de consumo de energia.

O plano acima é de execução extremamente difícil, pois envolve um grande esforço de coordenação dentre um número elevado de agentes e, além disso, coloca junto agentes de diferente natureza como consumidores individuais, empresas e governos. Ainda assim, o plano é importante ao demonstrar a magnitude da complexidade estratégica do problema e, portanto, a resposta não deve ser simplista. A resposta deve, necessariamente, abranger todos os problemas envolvidos e precisa contornar os possíveis problemas políticos que venham a criar obstáculos a execução de um plano bem estruturado.

Outra abordagem aos dilemas políticos do aquecimento global, destacado por Veiga e Vale (2007), enfoca a questão através da lógica da Teoria dos Jogos. Este enfoque busca colocar dentro da mesma análise o custo-benefício macroeconômico (em nível global) das diferentes alternativas estratégicas e o cálculo microeconômico de cada país ao decidir se os benefícios de se aliar à outros excedem os custos. Um acordo individualmente racional ocorre quando os benefícios menos os custos de uma aliança é maior do que o benefício líquido da não participação, entretanto, isto não é o suficiente para determinar a cooperação entre as nações, pois em alguns casos os benefícios dos caronistas são ainda maiores.

Os esquemas de cooperação podem organizar-se sobre diferentes concepções da palavra equidade. Primeiramente, podem ser igualitário, neste caso considera-se que cada indivíduo possui um direito *per - capita* de emissão. Nesta situação, países populosos como China e Índia possuem grandes vantagens. Há também a concepção de responsabilidade histórica que

já foi abordado anteriormente, esta propõe que países historicamente menos emissores têm menor responsabilidade sobre a situação atual e, portanto, devem arcar com menores custos. Por fim, a equidade pode surgir a partir da análise do PIB dos países, de maneira que aqueles que podem mais, pagam mais. Em suma o conceito de equidade para organização dos países em torno de uma meta comum pode variar bastante. No entanto, algumas conclusões podem ser retiradas da análise a partir da ótica da Teoria dos Jogos: primeiramente é possível deduzir que a inexistência de punição crível aos caronistas reduz o nível das metas propostas pelas alianças, assim como aconteceu com o Protocolo de Kyoto; segundo, as alianças com menor número de participantes tendem a proporcionar uma melhor execução das metas estipuladas- mais uma vez surge aqui uma crítica ao Protocolo que abrangeu um número extremamente grande de países.

Aliado a esta imensa instabilidade política, que como vimos acima, provoca certa falta de eficiência em projetos bem intencionados, existe uma forte incerteza com relação aos limites da própria natureza. Não há nenhum estudo conclusivo que aponte qual o limite de concentração atmosférica de CO₂ que ocasionará efeitos de larga escala nunca antes vistos pela humanidade, como será apresentado na seqüência do trabalho. É exatamente neste momento que é invocado o princípio da Precaução, como coloca Romeiro (2001).

As análises de custo-benefício tradicionais na economia moderna são irrelevante aqui, isto porque os custos não são calculáveis. A concentração de gases do efeito estufa pode ultrapassar a resiliência oferecida pelo Planeta Terra e, então, os possíveis efeitos causados como consequência desta concentração podem atingir uma magnitude difícil de ser calculado através dos atuais modelos.

2. Características Físicas do Aquecimento Global e Cenários Futuros

O aquecimento global é um imenso desafio que engloba questões de justiça e direitos humanos em âmbito intra e inter-geracional. Envolvendo em sua agenda de discussão questões de caráter científico, econômico e político em igual proporção.

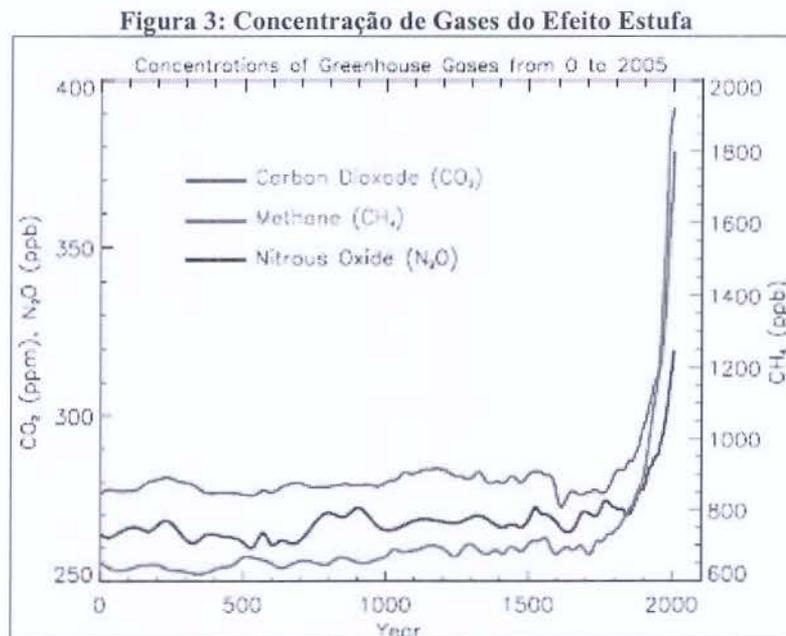
Antes de iniciar um debate mais aprofundado sobre o modelo de redução das emissões mais adequado às características econômicas, ambientais e políticas atuais faz-se necessário uma descrição do fenômeno do aquecimento global, assim como de possíveis cenários derivados dessa mudança na temperatura global.

Dentre os gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O) e CFC's (CF_xCl_x), destacam-se o primeiro e o segundo. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera evoluiu de 280ppm¹ durante o período pré revolução industrial para 379ppm de acordo com a medição do ano de 2005, a principal fonte desse aumento na concentração de CO_2 na atmosfera reside essencialmente na queima de combustíveis fósseis, a principal fonte de energia ao redor do globo. O segundo gás de efeito estufa em destaque, o CH_4 , possui como principais fontes antropogênicas de emissões a agricultura e a queima de combustíveis fósseis - entretanto uma parte significativa do gás na atmosfera tem origem pouco determinada e difusa -, a concentração de metano também sofreu grande crescimento do período pré-industrial (715ppb²) para os dias atuais (1774ppb). Os demais gases, embora possuam influência sobre o fenômeno estudado, são de menor importância devido a sua baixa taxa de concentração e a estabilização do ritmo de crescimento das emissões.

¹ Partes por milhão ou ppm é uma medida de concentração utilizada quando as soluções são muito diluídas. A concentração ppm em massa expressa a massa de soluto (disperso), em μg (micrograma), existentes em 1 g (1 milhão de μg) de solução.

² Partes por bilhão.

A tabela a seguir retirada do Relatório do IPCC (Working Group I: The Physical Science Basis of Climate Change, 2007) demonstra a concentração dos gases acima descrito desde o ano 0 até 2005. O crescimento após a revolução industrial é evidente e corrobora a tese sobre a origem antropogênica das emissões.



fonte: relatório IPCC

O fenômeno do aquecimento global afetará a vida de todos a população mundial através de fatores elementares como acesso a água, produção de alimentos, saúde e uso da terra. Precificar os efeitos do aquecimento não é simples. Entretanto, através de modelos computacionais é possível estimar a magnitude desses eventos.

A análise das conseqüências físicas do aumento da temperatura leva problemas quase sempre mediados pelo acesso à água. O derretimento de geleiras poderá levar inicialmente a um aumento no risco das inundações e posteriormente em um problema de fornecimento de água para um sexto da população mundial localizada nos Andes, parte da China e da Índia. A produção mundial de alimentos seria seriamente atingida por um aumento de 4°C (em altas e médias latitudes, uma aumento de 2°C poderia inicialmente ser benéfico porém o aumento gradual desta temperatura seria uma catástrofe) levando um número incalculável de pessoas, principalmente na África, a fome.

O aumento do nível dos mares surgirá como um enorme risco ao sudeste da Ásia e a grandes cidades costeiras como Tóquio, Nova Iorque e Londres desabrigando duzentos milhões de pessoas. Por fim, a acidificação dos oceanos, consequência do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, é um grande ameaça a pesca marinha.

Mais grave ainda que os efeitos do aquecimento é a sua distribuição. Os países pobres serão afetados com maior intensidade e mais cedo essencialmente devido a sua posição geográfica. Isto é, estes países já são caracterizados por temperaturas mais altas e precipitações mais volumosas, a intensificação dessas peculiaridades levará a um aumento dos custos e poucos benefícios, especialmente, na maior fonte de renda dessas regiões, a agricultura. Além disso, essas regiões passarão por maiores dificuldades financeiras ao tentar se adaptar ao novo cenário.

Uma análise mais criteriosa e detalhada dos cenários futuros parte da caracterização de alguns setores específicos e da divisão de análise por regiões políticas. No decorrer deste primeiro capítulo será feita uma descrição dos possíveis problemas enfrentados em três áreas: agricultura, indústria e saúde. E dos prováveis problemas enfrentados pelos diferentes continentes.

2.1. Agricultura

O impacto causado pela mudança da temperatura no PIB global da agricultura em 2080 variará de -1,5% a 2,5% dependendo da magnitude da mudança climática. As áreas de média e alta latitude serão beneficiadas pelo fenômeno enquanto as áreas de baixa latitude serão fortemente prejudicadas. Esta alteração pode provocar uma mudança no comércio global, previsões sugerem um aumento de 10% a 40% nos fluxos de cereais das regiões de média e alta latitude para as regiões de baixa latitude. Os países mais beneficiados com essa alteração seria o Canadá, com aumento de 20% a 50% de sua terra passível de agricultura, e a Rússia com um aumento de 40% a 70%. O nível global de produção tenderá a crescer caso o aumento da temperatura restrinja-se a 1-3°C, para temperaturas acima, a tendência é de queda na produtividade independente da região.

Por outro lado, o continente africano sofreria com um aumento considerável das secas e diminuição da quantidade de terras potencialmente produtoras. Além disso, o continente Asiático também decairá sua produção de arroz em 3,8% durante o decorrer do presente século.

As quatro dimensões da segurança alimentar (disponibilidade, estabilidade da oferta, acesso e utilização) serão atingidas pelo aquecimento global. Sendo essas dimensões afetadas não apenas pelas mudanças climáticas, mas também pelas próprias transformações nos fluxos de comércio supracitado.

Embora ainda haja muitas incertezas, alguns pontos surgem como consenso com relação à necessidade de aplicação de políticas. Primeiramente, o cenário projetado para um aumento da temperatura envolve um número muito maior de pessoas em risco de fome do que um cenário sem a alteração da temperatura, entretanto, a quantidade total de pessoas em risco irá depender do nível de desenvolvimento socioeconômico e de conseqüente queda no crescimento demográfico. Atualmente, de acordo com a FAO o número de pessoas em risco atinge 820 milhões.

Provavelmente, a África sub-saariana irá superar a Ásia como a região com menor segurança alimentar do globo. Entretanto, isso está correlacionado não apenas com a mudança na temperatura mas também com as projeções de desenvolvimento socioeconômico para as regiões em questão, a porcentagem da população subnutrida na África abaixo do deserto do Saara passará de atuais 24% para, possivelmente, 40-50%.

Há também uma grande incerteza com relação aos efeitos do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a segurança alimentar. Inicialmente, é possível afirmar com relativa certeza, que uma maior concentração de CO₂ melhorará o ritmo de crescimento das plantações. No entanto, o aumento da temperatura que deriva desta maior concentração exigirá maiores esforços para suprir as necessidades hídricas das áreas produtoras tornando a produção mais cara e, possivelmente, anulando os efeitos positivos causados pelo CO₂. Este conjunto de efeitos oriundos de uma mesma origem dificulta a elaboração e projeção de cenários mais confiáveis estatisticamente e vem gerando um grande impasse dentro do meio acadêmico

e na criação de políticas públicas para minimizar os impactos sobre a produção de alimentos.

Por fim, o abatimento das emissões e a consequente mitigação do aquecimento possui efeitos positivos sobre a produção agrícola, mesmo que esses efeitos não sejam percebidos no médio prazo devido a inércia da temperatura global. Embora, a concentração de CO₂ possa oferecer benefícios a longo prazo para uma série de regiões, os continentes afetados negativamente são exatamente aqueles que, atualmente, já enfrentam grandes problemas com relação a segurança alimentar. Uma análise de custo benefício dos impactos entre esses países é extremamente delicada pois envolve não apenas dúvidas com relação aos modelos utilizados para projetar cenários mas, também, questões éticas e morais.

Por fim, o grupo de trabalho II do IPCC (Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II, 2007) apresenta algumas conclusões interessantes para os impactos do efeito estufa na produção de alimentos e na segurança alimentar:

- 1) Os efeitos do aumento da frequência e magnitude dos eventos extremos (secas, inundações, furacões, etc.) serão mais drásticos que os impactos provocados pelo aquecimento global no que tange a segurança alimentar da população mundial.
- 2) A mudança climática aumentará significativamente o número de pessoas sob risco de fome. No entanto, são as políticas de desenvolvimento econômico e social que determinarão qual a força da mudança de temperatura sobre este número.
- 3) Enquanto o aquecimento moderado oferece benefícios para as plantações e áreas de pastagens em latitudes médias e moderadas, os efeitos são maléficos para períodos de secas nestas regiões e durante as quatro estações para as baixas latitudes. Isto é, caso seja possível isolar os efeitos, um aumento de até 3°C irá refletir em um aumento do produto agrícola global, no entanto, o aumento da frequência e magnitude dos eventos extremos, em especial as secas, pode afetar desproporcionalmente os médios e pequenos produtores

de todo o mundo, uma vez que são esses agricultores que possuem maiores dificuldades de adaptação às mudanças.

2.2. Indústria e Sociedade

As projeções sobre o futuro da indústria, dada as alterações provocadas pelo aquecimento global, é desafiadora pois envolve, além da incerteza quanto a magnitude dos impactos da mudança de temperatura, a falta de conhecimento sobre as tendências futuras dos sistemas de produção. Isto é, a mudança da temperatura não necessariamente será o fator principal das mudanças, este surge apenas como um dentre as diversas alterações possíveis e pode ter um efeito potencializador ou minimizador das transformações na produção. Exatamente por isso, as pesquisas direcionadas a esse campo, focam seu trabalho em apontar as vulnerabilidades do setor e não em desenvolver projeções como é o caso da agricultura. No entanto, alguns dados sobre produtividade e tendências serão apresentados sobre setores específicos e, devido aos fatores expostos, devem ser analisados com a devida cautela.

Alguns problemas surgem como consequência direta das mudanças físicas do aquecimento, por exemplo, o aumento do nível dos oceanos afetará as estruturas físicas instaladas em regiões costeiras ou uma possível crise energética devido ao maior uso de sistemas de aquecimento e refrigeração. Ademais, alguns custos fora do processo de produção são de suma importância para as grandes corporações, por exemplo, os gastos com acidentes rodoviários relacionados ao mal tempo, no Canadá, somam anualmente a quantia de um bilhão de dólares. Outros impactos surgem de forma indireta na produção e são igualmente significantes, como possíveis alterações em instituições e formas de produção.

Assim como no caso da agricultura, os impactos na indústria e na sociedade ocorrem de maneira desigual ao redor do planeta, em regiões mais industrializadas calcula-se que as grandes perdas ocorrerão em termos monetários, em quanto, nas regiões menos desenvolvidas as baixas serão humanas. As principais consequências do aumento da temperatura apontadas pela bibliografia são: formação de gargalos em setores básicos da economia

como fornecimento de energia e disponibilidade de água, mudanças nos padrões de consumo social – em especial no consumo de energia e serviços públicos – que podem afetar a disponibilidade desses serviços para outras funções, perdas estruturais devido a eventos extremos e mudanças na estrutura da economia, isto é, crescimento dos custos, alterações nos cálculos de risco e no tamanho dos mercados e consequências negativas para a concorrência.

Em geral, a indústria apresenta-se menos vulnerável às alterações de temperatura do que outros setores como a agricultura. Isto deve-se tanto a sua menor sensibilidade quanto a maior capacidade de adaptação. A exceção são as fábricas instaladas em regiões sujeitas a eventos extremos e setores industriais que usam como insumo produtos dependentes do clima, como por exemplo, o processamento de alimentos.

O setor afetado mais fortemente será o de energia, seja por parte da demanda ou da oferta. Alguns impactos são bastante evidentes como a queda no uso de aquecedores e aumento do uso de sistemas de refrigeração. Modelos elaborados para a demanda de energia do Reino Unido no ano de 2100 sugerem um aumento dos custos na magnitude de 0,45% e uma economia de aproximadamente 0,75%, no entanto, este modelo desconsidera a possibilidade de migração de populações habitantes de áreas que sofrerão mais intensamente com o aumento da temperatura. Pelo lado da oferta, os principais problemas são a ocorrência de eventos extremos e a mudança nos padrões de chuva que poderá afetar drasticamente um país dependente da energia gerada por hidrelétricas, como é o caso do Brasil. Além disso, as mudanças institucionais também aparecem como um obstáculo à produção de energia em algumas regiões, países dependentes de termo-elétricas já estão sendo prejudicados pelos acordos de redução de emissões de gases de efeito estufa, uma vez que o carvão é uma das principais fontes de dióxido de carbono.

Mudanças no padrão de comércio mundial não podem ser determinados com precisão pelos mesmos motivos pelos quais não é possível estabelecer cenários futuros estatisticamente confiáveis, no entanto, algumas tendências são passíveis de análises. O fluxo de transações de mercadorias poderá ser alterado basicamente pela remodelagem das vantagens comparativas, isto é,

alterações nas fontes de matéria prima, frequência de eventos extremos e nos padrões e políticas de redução de emissões devem reestruturar o sistema de preços relativos e levar a produção de certos produtos em regiões em que hoje não é rentável. Em um mundo globalizado, essa pequena transformação nos preços relativos podem levar certas regiões a um alto nível de desemprego.

Outro setor da economia atingido diretamente são as empresas de seguro, o aumento de eventos extremos já esta surgindo como uma causa do aumento do preço das cláusulas. O volume de eventos catastróficos do passado são usados como estatística para prever a probabilidade desses eventos ocorrerem novamente, sendo assim, regiões que apresentaram quantidades elevadas de furacões, inundações ou secas no passado estão com a oferta de seguros restrita - elevando os preços - ou até mesmo inexistente, forçando o Estado a fornecer alguma alternativa. Um exemplo aconteceu em 2006, quando a *US insurers* recusou-se a cobrir propriedades localizadas em regiões costeiras sujeitas a inundações pois considerava-se incapaz de calcular os riscos envolvidos nesta transação.

As alternativas de adaptação à mudança de temperatura irá variar de acordo com o setor da indústria e suas peculiaridades, empresas com alto nível de *sunk costs* como a de produção de energia, ou muito dependentes do clima (processamento de alimentos, e agricultura) são as mais vulneráveis aos impactos, no entanto, a maioria destas empresas contam com a tecnologia e o capital necessário para se cobrir das incertezas, seja dividindo os riscos ou mudando-se para regiões menos afetadas. O problema climático deve ser incluído nos calculos, assim como, todos os outros fatores já inclusos.

Outras indústrias como a construção civil já esta modelando suas atividades para as possíveis mudanças, por exemplo, a ponte *Confederation Bridge* instalada no Canadá em 1997 foi construída um metro mais alta do que o planejamento inicial justamente para comportar o aumento de 1 metro dos oceanos até o ano de 2100. Essa novas modelagens surgem como respostas tanto aos efeitos diretos como é o caso da *Confederation Bridge* quanto aos indiretos, através de alterações nos processos de troca, negociação e produção. Mais uma vez, neste caso, as indústrias instaladas nos países em desenvolvimento aparecem em desvantagem seja pela sua maior rigidez em adotar novas técnicas ou simplesmente pela menor disponibilidade de capital.

2.3. Saúde

Os problemas de saúde mais frequentes provenientes da mudança de temperatura e que podem gerar uma grande perda econômica e humana são: as ondas de calor/frio, maior frequência de doenças características de regiões tropicais, má nutrição e doenças derivadas da radiação ultra violeta.

Dentre as consequências enumeradas acima, a que chama mais atenção é maior frequência de doenças. Os países da África subsaariana são, atualmente, os que mais sofrem com a meningite; por motivos ainda desconhecidos a distribuição espacial, intensidade e sazonalidade da meningite estão fortemente ligados aos períodos de secas. Por outro lado, as secas provocam uma tendência de queda na incidência de doenças que possuem mosquitos como vetores devido as condições adversas de reprodução dos insetos. Outra forma de propagação de doenças relacionadas ao aquecimento é através da contaminação dos alimentos. O número de pessoas contaminadas por salmonela é diretamente proporcional ao aumento da temperatura no verão Norte Americano, além disso, a difusão de pragas como mosquitos e baratas também é crescente a medida que aumenta a temperatura. O aquecimento das águas marinhas também surge como um fator preocupante, são nessas águas mais quentes que ocorre o *boom* de crescimento de algas tóxicas e, conseqüentemente, contaminação de ostras e peixes que serão futuramente consumidos.

Alterações climáticas surgem como uma das explicações para aumento de alguns tipos de insetos transmissores de doenças em regiões de alta latitude, por exemplo, casos de leishmaniose canina no norte europeu. No entanto, as duas doenças que continuam a mais preocupar são a dengue e a malária. A relação da distribuição espacial e surtos destas doenças com a distribuição de chuvas existe, porém não é suficiente para explicar a variabilidade dos casos da doença, é necessário incluir nesta análise fatores socio-econômicos e culturais. O fato é que os verdadeiros efeitos do efeito estufa sobre a disseminação dessas doenças ainda permanece como uma incógnita.

Os métodos para estimar os custos monetários derivados de perdas relacionadas com o clima ainda permanecem não totalmente desenvolvidos.

isso porque incluem uma pequena gama de gastos com saúde dentro de seus cálculos, em geral aqueles relacionados com as ondas de calor/frio e malária. Entretanto, acredita-se que esse gastos superarão em muito os atuais US\$ 6 bilhões e algumas medidas adaptativas surgem como obrigatórias para minimizar as expectativas de custo. A eficiência dessas medidas irá depender do peso da mudança climática nos gastos com saúde, da disponibilidade de pessoas capacitadas, do volume de dinheiro destinado pelas autoridades e das condições políticas e sociais da região em que o programa for implantado.

Essas medidas adaptativas devem ser divididas entre a esfera individual, regional, nacional, e supranacional. Sendo assim, é necessário um esforço conjunto de toda a sociedade, Estado e agências internacionais de saúde para combater os possíveis efeitos maléficos do aquecimento, esse esforço unificado é de suma importância para romper as barreiras impostas pelas limitações orçamentária dos países em desenvolvimento e proporcionar maior efetividade das políticas.

Feitas essas análises dos impactos sobre agricultura, indústria, sociedade e saúde, cabe agora algumas ressalvas quanto ao impacto da mudança climática nas diferentes regiões do planeta. Os continentes mais afetados pelas consequências do aquecimento global serão respectivamente a África e a Ásia devido, principalmente, a grande população localizada em áreas sujeitas a problemas climáticos e eventos extremos e ao baixo desenvolvimento socioeconômico que dificulta a implantação de técnicas para a promover a adaptação ao novo meio ambiente. Além disso, a agricultura dessas regiões é extremamente dependente do nível de chuvas e a economia apresenta diversos problemas estruturais e gargalos, principalmente relacionados a crescente urbanização.

No ano de 2020, as projeções para o continente africano indicam entre 75 e 250 milhões de pessoas sobre risco de falta de fornecimento de água graças a mudança climática. A falta de água também será a responsável pela queda na quantidade de áreas potencialmente agricultável e, conseqüentemente, elevará o volume de indivíduos sobre risco de má nutrição, afetando a segurança alimentar do continente. As regiões mais vulneráveis às quedas na produção agrícola serão as próximas ao deserto do Saara que sofrerão uma perda entre 2% e 7% de seu PIB e, em seqüência, aparece o

Oeste e a África central com custos avaliados entre 2% e 4% do PIB. Por fim, os extremos norte e sul serão menos atingidos, entre 0,4% e 1,3% . No final do século 21, o aumento do nível dos oceanos será de tal magnitude que os gastos adaptativos custarão entre 5% e 10% do PIB africano. Soma-se a esse custo, os danos causados em mangues e recifes que recairão sobre a atividade de pesca atingindo, mais uma vez, a segurança alimentar e sobre a indústria turística.que, atualmente, representa cerca de 3% do fluxo de turistas ao redor do globo.

O continente asiático, em especial as zonas de baixa latitude, também sofrerá severos impactos que serão ainda mais graves do que no restante do mundo devido a grande densidade populacional de países como China, Índia e Bangladesh e devido a concentração dessa imensa massa populacional em regiões sujeitas a eventos extremos. O exemplo das consequências catastróficas de um possível evento extremo nessa região foi demonstrado com o Tsunami de 2004, que fez mais de duzentas mil vítimas entre habitantes de Bangladesh, Índia, Tailândia, Indonésia e Malásia.

Uma elevação de cerca de 40 cm no nível do mar, considerada uma estimativa conservadora para uma grande parte dos especialistas, pode aumentar o número de vítimas de inundações dos atuais 13 milhões para mais de 7 vezes esse valor, sendo os países mais afetados Índia, Bangladesh e Sri Lanka. A suscetibilidade da região já mostra-se evidente com um possível aumento de apenas 30 cm, a esse nível de elevação, mais de 81km² da região costeira da China sofreria inundação.

O derretimento de geleiras do Himalaia provocará não apenas danos materiais aos habitantes da região devido as inundações e avalanches, como também, afetará o acesso à água de todos os habitantes do sudeste e centro do continente graças a queda no volume dos rios. Projeções para o final do presente século indicam que a agricultura do sul e centro asiático sofrerão uma queda na produção de até 30% enquanto a produção do sudeste irá crescer cerca de 20%, aliando esta projeção com a tendência de crescimento populacional e urbanização, a presença de uma grande massa sobre risco de fome e má nutrição continuará elevada

Por fim, a saúde da população do continente também será afetada pela mudança climática. Acredita-se que as frequentes inundações culminarão no

aumento do número de mortes derivadas de casos de diarreia - provocadas principalmente por microorganismos como a *Giardia* e *Salmonella* - e desnutrição. Como dito anteriormente, o *boom* de crescimento de algas em águas oceânicas mais quentes também forma um excelente habitat para bactérias como a causadora da cólera. Finalmente, a qualidade do ar nas grandes cidades chinesas e indianas tendem a atingir um nível pior do que o atual, criando uma despesa extra ao Estado no tratamento de doenças cardiovasculares e respiratórios, além disso, a baixa qualidade do ar também é um fator agravante durante as ondas de calor do verão asiático.

Na sequência de África e Ásia, a terceira região do globo mais vulnerável às mudanças climáticas é a América Latina. A imensa biodiversidade presente nos diferentes biomas da região está severamente ameaçada devido a sua baixa velocidade de respostas às rápidas mudanças climáticas. Uma mudança de apenas 2°C poderá ser responsável pela extinção de 24% das espécies de árvore do cerrado brasileiro no ano de 2050, a tendência para a Amazônia também não é das melhores, a exarcebação de eventos extremos pode guiar a floresta para um tipo de vegetação mais resistente a esses eventos, processo conhecido como savanificação, o mesmo processo também poderá ser observado nas florestas tropicais de altitude localizadas na América Central.

Embora os efeitos sobre a agricultura sejam incertos e questionáveis, de acordo com o Banco Mundial (2002a), citado por IPCC (2007) , países em desenvolvimento perdem atualmente entre 4% e 8% de seu PIB em problemas relacionados ao meio ambiente. No caso da América Latina, a desertificação e salinização afetará metade das terras agriculturáveis até o ano de 2050, sendo as regiões mais atingidas: o nordeste brasileiro, a costa do Peru, o centro do Chile, o oeste argentino e boa parte da Mesoamérica.

As maiores preocupações com relação ao futuro da saúde na região esta ligado a disseminação de doenças como malária, dengue e cólera. Cerca de 31% dos habitantes da América Latina estão em zonas sujeitas a surtos de malária sendo Bolívia e Nicarágua os países mais afetados em um possível cenário de mudança climática de acordo com os modelos utilizados pelo IPCC. As maiores causas de mortes relacionadas ao aquecimento serão em consequência de inundações, diarreia, malária e dengue. O caso da dengue

será especialmente alarmante para o Brasil, México, Peru e Equador que terão as fronteiras geograficas de transmissão expandidas.

Austrália e Nova Zelândia passarão por problemas semelhantes aos já expostos até o momento. A intensificação da evaporação e o menor volume de precipitação serão responsável por intensificar os problemas de acesso a água no sudoeste e no leste da Austrália e por seguinte, prejudicar a agricultura dessas áreas. A biodiversidade presente na região também será fortemente afetada pelas mudanças, ecossistemas únicos como a barreira de corais e Queensland estão ameaçados devido a sua baixíssima capacidade de adaptação a um novo ambiente climático, afetando também, a indústria do turismo que é responsável por 4,5% do PIB Australiano.

A peculiaridade dos impactos do aquecimento na região fica por conta dos efeitos sobre a população Maori da Nova Zelândia. Embora uma grande parte dos Maoris estejam instalados em áreas urbanas, tribos ainda sobrevivem da pesca e caça, atividades severamente atingidas pela mudança no clima. Diferentemente dos demais habitantes da ilha, a população Maori não dispõe de todos os aparatos necessários para uma rápida adaptação à mudança, uma mudança no ambiente poderia ser responsável por uma migração em massa dessa população para os centros urbanos determinando o enfraquecimento de toda uma cultura.

O continente europeu talvez seja o que possui maior capacidade de transformação diante de uma mudança no meio ambiente seja pela quantidade de capital acumulado por essa sociedade em centenas de anos ou pelas experiências adquiridas nos eventos extremos, como ondas de calor, frequentes em países como Grécia e Itália.

Devido sua localização geográfica, os impactos ocorridos no continente serão diversificados. O consumo de energia irá cair em países como Finlândia (10%) e Romênia (8%) graças a um inverno menos rigoroso e, por outro lado, aumentará em toda a região do Mediterrâneo (28%) devido às ondas de calor mais frequentes durante o verão. A mesma lógica de impactos distintos serve para a produção agrícola, enquanto a parte mais ao sul irá experimentar um queda na produtividade (legumes até 30% e girassol até 12%), a parte localizada mais ao norte, especialmente Irlanda e Escócia, terá um aumento considerável de suas terras férteis.

Um ponto a ser ressaltado quanto aos efeitos do aquecimento sobre a Europa é a saúde, principalmente com relação ao acesso a água potável e a qualidade do ar. Com a maior incidência de secas e tempestades, a quantidade de micróbios na água aumenta consideravelmente contaminando reservatórios destinados a grandes centros urbanos europeus. A baixa qualidade do ar também é um fator alarmante nas grandes cidades do velho continente e é um fator agravante das ondas de calor.

E por fim, a América do Norte apresenta as mesmas possibilidades da Europa no quesito adaptação. As regiões mais ao norte dos Estados Unidos e, praticamente, todo o Canadá não sofrerão grandes impactos com um aumento moderado da temperatura (até 2°C). Pelo contrário, a produção agrícola americana possui uma tendência de crescimento de até 20% durante o decorrer do presente século. A grande dúvida sobre esse aumento na produção está relacionada ao acesso a água em estados mais secos como o Arizona e a mudanças indiretas do aquecimento como a propagação de pestes e doenças que infestam as plantações.

O grande perigo à saúde norte-americana nos próximos anos está relacionado ao aumento do número de idosos que são mais sensíveis aos problemas trazidos pelo aquecimento. Até o ano de 2010, a população acima dos 65 irá subir gradualmente, após esse ano, a mudança na transição demográfica ocorrerá de forma abrupta graças ao *baby boom* do pós segunda grande guerra. Sendo assim, os gastos com saúde deverão ser repensados não unicamente pelo aumento da frequência de ondas de calor ou pela queda na qualidade do ar, mas sim pelo efeito associado desses problemas com o crescimento da população mais vulnerável.

O aumento do nível dos oceanos também trará grandes problemas à América do Norte, calcula-se que um aumento de 0,5 metros traria um gasto preventivo de até 8,8 bilhões de dólares para o estado da Flórida. Esse é apenas um exemplo diversas outras cidades importantes como Boston, Nova Iorque e Los Angeles também estão sujeitas a este mesmo desafio.

Diante deste cenário catastrófico, é inegável a necessidade de mudanças que promovam o desenvolvimento de um tipo de sociedade e sistema de produção/consumo mais adequado às limitações físicas que o planeta Terra impõe evitando ou pelo menos minimizando a quantidade de

perdas que um fenômeno como o aquecimento global possa provocar. Sendo o objeto de estudo deste trabalho, a discussão sobre a redução de emissões de gases do efeito estufa, uma dessas tentativas.

3. Modelos de Redução de Emissões

A atmosfera, assim como qualquer outro bem comum, possui como características a rivalidade e a não exclusividade. Ou seja, ao mesmo tempo em que não é possível excluir um consumidor, pois não há direitos de propriedade sobre este bem, o uso de um agente causa externalidades que poderão afetar os demais agentes. Uma vez que o custo social da utilização da atmosfera é desconsiderado no cálculo dos agentes que, no nosso caso, emitem gases responsáveis pelo efeito estufa, a tendência é a utilização do bem (atmosfera) até o seu limite.

A questão dos bens comuns é geralmente associada ao biólogo Garrett Hardin e seu artigo "The tragedy of the commons" (1968), que analisou um exemplo hipotético de uma aldeia que possuía pastagens compartilhadas entre diversos pastores e é levada a uma situação calamitosa devido à grande quantidade de gado alimentando-se na mesma área. A tendência é o uso indiscriminado das pastagens, pois mesmo que um pastor perceba que o uso está degradando as pastagens, ele não irá diminuir sua quantidade de animais pois acredita que sua atitude individual apenas abrirá mais espaço para outro pastor. Nas palavras do próprio biólogo:

"...the rational herdsman concludes that the only sensible course for him to pursue is to add another animal to his herd. And another... But this is the conclusion reached by each and every rational herdsman sharing a commons. Therein is the tragedy. Each man is locked into a system that compels him to increase his herd without limit -- in a world that is limited. Ruin is the destination toward which all men rush, each pursuing his own best interest in a society that believes in the freedom of the commons. Freedom in a commons brings ruin to all." (Hardin, 1968)

A tragédia dos comuns é inevitável em um estado de livre utilização do bem, assim como analisada por Garrett Hardin. Sendo assim, o desafio para a sociedade está em por barreiras que limitem o uso desenfreado, e contorne a

tragédia. Em comunidades pequenas, as pessoas podem ser impedidas de praticar atos que levem à tragédia dos comuns devido a pressões sociais que desencorajam atitudes nocivas ao ambiente comunitário. No entanto, no caso em análise, o controle necessariamente deve ser feito de cima para baixo, isto é, a atuação de uma entidade central que atue em nível nacional e internacional é essencial para efetividade de programas que controlem a emissão de gases causadores do aquecimento global.

O método mais tradicional pelo qual os governos podem equilibrar as causas da tragédia dos comuns é a criação de leis e normas. Estas normas apresentam vantagens consideráveis do ponto de vista do poluidor e dos políticos como método de redução da emissão de gases. No entanto, apresenta desvantagens gritantes quando comparadas a outros modelos baseados no mercado. Como coloca Frances Cairncross (1992), a primeira imperfeição das normas é que determina que todos os poluidores limpem na mesma proporção, independente dos custos que esta ação provocará em suas contas (este é um dos motivos pelo qual os poluidores vêem as normas com bons olhos, eles sabem exatamente onde estão pisando e sabem que a norma irá impor os mesmos limites a todos os emissores). Por exemplo, no ano de 1992, a ANP (agência nacional do petróleo) proibiu o uso de chumbo (símbolo:Pb) como aditivo na gasolina, a consequência foi que os donos de carros mais velhos tiveram que pagar mais do que os proprietários de carros novos para adaptarem seus motores a rodar com o novo tipo de gasolina. Os motoristas brasileiros, no entanto, foram relativamente beneficiados pela opção de utilizar o etanol como aditivo, o que amenizou fortemente os custos.

Alternativas para adaptar a redução de emissões à estrutura de custo de cada indústria existem. O principal exemplo são os modelos regulatórios que incluem o conceito BAT (Best available technology). Na prática, esse conceito coloca uma margem de negociação para entidades que controlem as emissões e indústrias poluidoras. A decisão é balizada nos custos da troca por um equipamento mais novo e que polua menos e nos benefícios desse constrangimento de emissões.

Em realidade, na medida em que o cumprimento de uma nova regra está diretamente relacionada a realização de um novo investimento, as normas devem ser mais eficientes exatamente nestes novos investimentos. No entanto,

Frances Cairncross (1992) coloca que a elevação nos preços dos equipamentos mais modernos apóiam a decisão dos empresários de adiarem os gastos na compra de novo maquinário. Em suma, os que acham caro simplesmente não obedecem a nova regra e os que considerem os custos relativamente baixos não possuem nenhum estímulo a promover reduções maiores do que o exigido por lei.

A conseqüência prática é que a eficiência ambiental e econômica de um sistema de controle das emissões através do mercado é nitidamente maior quando comparada com o modelo *command and control*, ou seja, aquele que regula as tecnologias utilizadas pelas empresas e acabam por dificultar a substituição de equipamentos obsoletos já que a regulação não é efetiva para equipamentos já instalados. Em uma análise rápida, a maior eficiência ambiental está ligada, pelo menos teoricamente, ao fato dos poluidores possuírem um incentivo a diminuir as emissões uma vez que é mais barato fazer isto do que encarar os custos tributários. Além disso, o controle de emissões através de um instrumento de mercado cria nos agentes um motivo permanente para reduzir mais do que o necessário. Por exemplo, caso o preço da gasolina seja elevado graças a aplicação de uma taxa, as pessoas serão induzidas a dirigir cada vez menos, pois cada quilômetro rodado terá um peso maior em seu bolso. Este efeito sobre a população como um todo é extremamente frutífero se considerarmos que as emissões surgem não apenas das decisões das grandes apenas, mas também das decisões de cada indivíduo. Por fim, os instrumentos econômicos apresentam-se como um incentivo à compra de tecnologias menos poluidoras e ao desenvolvimento de processos mais limpos, essenciais para garantir o crescimento econômico sem prejudicar o meio ambiente de maneira irreversível como colocado no capítulo anterior.

Atualmente, devido aos diversos fatores expostos acima, há um relativo consenso com relação à maior efetividade dos mecanismos de mercado para promover a restrição nas emissões dos gases do efeito estufa. Entretanto, o debate sobre qual modelo de precificação do carbono adotar ainda não atingiu um ponto final.

A primeira mudança a ser feita para controlar as emissões é precificar a emissão de carbono e, assim, fazer com que os agentes paguem pela

externalidade causada pelas emissões. Esta solução está presente em ambos os modelos analisados a seguir, e caso haja o comprometimento dos agentes, a precificação levará os agentes a procurarem tecnologias que emitam menos gases responsáveis pelo efeito estufa reduzindo os custos de longo prazo. Como já tratado anteriormente, as alternativas de redução das emissões aqui analisadas estão restringidas aos dois modelos de maior evidência no debate atual, isto é, o *cap-and-trade* e o imposto harmonizado sobre as emissões.

3.1. Taxa Harmonizada

O mais antigo e consagrado de todos os instrumentos de intervenção econômica sobre as questões ambientais é a taxa. Sua utilização começou a se disseminar no final dos anos 1980, no entanto, a idéia de incluir uma externalidade nos custos é bem mais antiga, tendo sua origem nos artigos do Arthur Pigou. Inicialmente, as taxas sobre os poluidores estavam mais orientadas a aumentar as receitas do governo do que para desestimular os poluidores. Geralmente, nos países europeus, estas estavam ligadas a poluição de águas e seu nível era colocado a um patamar tão baixo que não provocava a mudança de comportamento por parte dos poluidores.

Frances Cairncross (1992) indica o final da década de 1980 como um marco para que governos do norte Europeu começassem a discutir a aplicação de taxas sobre os gases causadores do efeito estufa, em especial o dióxido de carbono liberado na queima de combustíveis fósseis, os únicos países que adotaram de fato sobre-preço CO₂ foram a Suécia e a Finlândia. Outros países optaram por aplicar taxas diretamente sobre os produtos finais, a Itália criou uma taxa sobre sacolas plásticas, a Dinamarca taxou inseticidas vendidos em pequenos invólucros (que possuíam como destino final os restos de lixo doméstico). Os EUA e a Noruega criaram taxas sobre os CFCs que provocam a destruição da camada de ozônio e por consequência problemas como aumento na incidência de câncer de pele e catarata, diminuição de fitoplâncton, entre outros problemas.

Embora a sua utilização em escala nacional já possua alguns anos de experiência, esse primeiro método de mitigação das emissões não possui

qualquer experiência internacional na área ambiental. No entanto, as tarifas harmonizadas são usadas regularmente no âmbito internacional seja nas políticas fiscais ou comerciais, exemplos são as taxas harmonizadas da União Européia e taxas aplicados sobre o comércio internacional.

A taxa pigouviana, aplicado neste caso, é uma alternativa à limitação de emissão de carbonos através de cotas. Através desse mecanismo, os países devem concordar em penalizar os agentes emissores aplicando uma taxa que internalise o custo social da emissão no custo do produto final vendido ao consumidor. O valor desta taxa pode ser determinado de duas maneiras distintas: a partir de modelos matemáticos que indicam a quantidade tolerável de gases na atmosfera ou a variação de temperatura aceitável, e a partir do cálculo do valor da taxa que induza o nível eficiente de produção. Por exemplo, se for determinado que a mudança de temperatura aceitável seja de dois graus Celsius, então o valor aplicado deverá ser de U\$72 por tonelada de carbono de acordo com o modelo matemático e as premissas usadas por Nordhaus (2008). Além disso, o valor deve ser reajustado a partir do momento em que novas informações cheguem. A eficiência espacial da taxa é garantida, pois os países devem ajustar esse preço do carbono de acordo com suas características econômicas. Caso o método adotado seja o de preço de eficiência, este preço também deve ser ajustado com o tempo para garantir o nível de eficiência.

3.2. *Cap-and-trade*

O sistema conhecido pela expressão em inglês *Cap-and-trade* surgiu como uma flexibilização prevista no Protocolo de Kyoto. De acordo com o Protocolo, uma autoridade central determina o volume de gases do efeito estufa que pode ser lançado na atmosfera. O segundo passo é emitir as licenças de emissão que são distribuídas entre os agentes. As empresas que precisam aumentar a sua licença devem comprar créditos no mercado, e as empresas que diminuem suas emissões podem vendê-los. Na prática, o poluidor está pagando um preço por suas emissões e o agente que diminuiu sua poluição abaixo do estipulado pela suas emissões está sendo beneficiado no mercado. Sendo assim, a teoria propõe que os agentes que conseguirem

baixar sua poluição - sem aumentar em muito seus custos – Irão reduzir as emissões e beneficiar a todos.

A diferença primordial entre este método e a taxa harmonizado é a determinação *ex-ante* do volume de gases do efeito estufa que será lançado pelos agentes (este volume representa a escala do serviço ecossistêmico de absorção de carbono), o que só é possível através do sistema de cotas de carbono. No entanto o preço do crédito de carbono no mercado, de acordo com este modelo, é conhecido apenas *a posteriori*, o que não ocorre caso seja aplicado uma taxa.

Para que este modelo possua eficiência, Stavins (2007) propõe uma série de características que devem ser contempladas. Primeiramente as reduções devem ter como principal alvo o gás carbônico, no entanto, outros gases causadores do efeito estufa também devem ser inseridos em um plano de mitigação. Em segundo lugar, assim como propõe Nordhaus, o autor acredita que os esforços de mitigação devem seguir uma trajetória crescente. No início os esforços devem ser moderados, pois isso implica menos gastos à economia que pode, com o passar do tempo, desenvolver novas tecnologias que permitam reduzir as emissões sem aumentar os custos drasticamente. O terceiro ponto é com relação a aplicação do modelo: as cotas devem ter uma abrangência para toda a economia, sendo que a maneira mais simples de obter este resultado é controlar diretamente a fonte das emissões, ou seja, a indústria de combustíveis fósseis. E por fim, o modelo deve incluir uma série de mecanismos que reduzam as incertezas, como será explicado no decorrer do capítulo.

3.3. Taxa Harmonizada versus *Cap-and-trade*

Diante desses dois modelos de redução de emissões, cabe a sociedade determinar qual dos modelos encaixa-se melhor nos padrões econômicos atuais e, ao mesmo tempo, permite a limitação das emissões a níveis considerados toleráveis pelos cientistas e pesquisadores, eliminando assim a possibilidade de ocorrer a tragédia dos comuns descrita anteriormente. De forma geral há um consenso entre os economistas do *main stream*, também

conhecido como Economia Ambiental, de que a taxa pigouviana seria a forma ideal de combater o excesso de CO₂ na atmosfera pois, de acordo com a microeconomia convencional, a aplicação de uma taxa sinaliza a decisão dos agentes de acordo com o mercado, produzindo maior eficiência alocativa. No entanto, a questão do aquecimento global não inclui apenas fatores econômicos, ou seja, a adoção no cálculo ambiental de fatores como a resiliência ambiental e os efeitos retardados e sinérgicos do acúmulo de gases do efeito estufa são motivos suficientes para a adoção de um modelo de controle da poluição que seja ao mesmo tempo economicamente eficiente, ecologicamente adequado às limitações do planeta e aplicável do ponto de vista político.

Para analisar quais as possibilidades de cada um dos supracitados atingir as metas econômica, ecológica e política serão discutidos sete aspectos considerados fundamentais para a implantação de um plano de sucesso. É importante ressaltar que estes pontos são apenas uma simplificação de uma realidade muito mais complexa, sendo as variáveis incluídas no debate são mais numerosas do que as aqui debatidas e incluem questões de complicada sistematização, como problemas que envolvem disputas inter-geracionais e de caráter moral. Abaixo seguem esses aspectos:

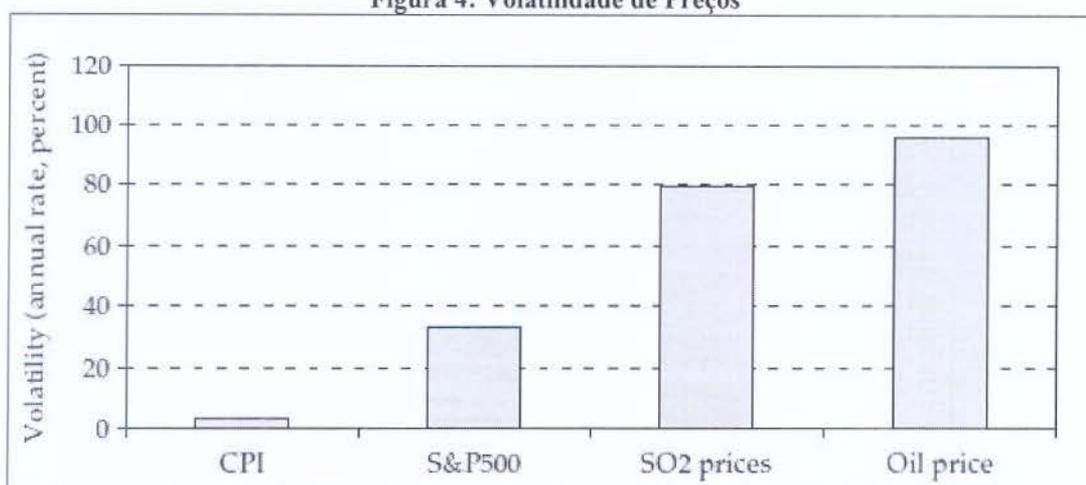
- 1) eficiência ambiental
- 2) flexibilidade oferecida diante das incertezas
- 3) relação custo-benefício
- 4) estabilidade dos preços do carbono
- 5) arrecadação do Estado
- 6) realismo político
- 7) mínima interferência governamental

Primeiramente, Nordhaus (2008) argumenta que as cotas de emissão de carbono não são uma boa maneira de lidar com algo que é de natureza incerta. Segundo o autor, um dos resultados dos estudos da economia ambiental é que a efetividade de uma política *price-type* e de regulação de quantidade depende da relação custo-benefício, isto é, se os custos são não lineares ao benefício então uma política do tipo preço é preferível. Por outro lado, se os benefícios

são não lineares comparados ao custo então uma regulação por quantidade é mais eficiente. No caso do aquecimento global, deveria haver uma tendência de opção por uma política de preço pois os benefícios da redução estão relacionados ao estoque de gases na atmosfera e os custos estão relacionados ao volume lançado diariamente, isto é, o fluxo de gases. Isto implica que o custo marginal de redução da emissão é bastante sensível ao nível de redução enquanto o benefício marginal é insensível ao nível de redução. Os modelos matemáticos do autor indicam que nos próximos dez anos os benefícios são uma função linear enquanto os custos são uma função convexa.

O mesmo autor faz mais uma crítica ao modelo *Cap-and-Trade*, acusando a inelasticidade de oferta de novas licenças de emissão e a demanda altamente inelástica ao preço de provocarem uma grande instabilidade no preço do carbono. Essa volatilidade de preços é verificada no mercado europeu onde, durante o ano de 2006, o preço do CO₂ variou entre a máxima de \$143,06 e a mínima \$44,47. A mesma tendência de volatilidade é observada no mercado americano de SO₂, que possui as mesmas características do mercado europeu de carbono. Essas flutuações são extremamente caras e indesejadas para o mercado de um bem que tende a ser tão importante quanto o petróleo. Por fim, há uma interessante analogia com a política do Fed entre os anos 1979-82, neste período, o banco central norte americano passou a controlar as variáveis quantitativas (agregados monetários) em detrimento dos preços (juros). Como consequência, a taxa de juros passou a ser extremamente volátil, assim como o preço do carbono no mercado europeu e norte americano. Abaixo segue um gráfico elaborado por Nordhaus (2008). Nele há uma comparação entre a volatilidade de preços em diferentes setores. O CPI (consumer price index) é um índice utilizado para o cálculo da inflação na economia - no caso em análise, economia norte americana - e leva em conta preço de produtos e serviços; o S&P500 é o índice elaborado pela agência Standart and Poor's e calcula a variação do preço de 500 diferentes ações transacionadas na Bolsa de Valores de Nova Iorque; o SO₂ Prices apresenta a volatilidade do preço do enxofre no mercado norte americano; e o Oil Price a volatilidade do preço do petróleo.

Figura 4: Volatilidade de Preços



fonte: Nordhaus (2008)

O objetivo desta tabela é apresentar a força da volatilidade nos preços do enxofre acreditando que, por utilizar do mesmo método de controle, o preço das cotas de carbono também poderá obter grandes flutuações e, conseqüentemente, causar enormes custos à economia global.

Com relação a volatilidade de preços, mas pelo outro lado da moeda, Stavins (2007) coloca que o fato do sistema de cotas promover menos estabilidade de preços ocorre justamente porque o foco do modelo é controlar as emissões. Além disso, existem mecanismos que podem diminuir essa incerteza com relação ao preço futuro das licenças de emissões, como permitir os agentes praticar *banking* e *borrowing*, isto é, caso os agentes possam salvar licenças para um momento futuro e caso possam emprestar licenças um ao outro, a estabilidade dos preços torna-se viável no longo prazo. Para garantir a estabilidade dos preços no curto prazo, o autor sugere um sistema de controle de preços que permitiria os agentes comprarem novas permissões caso o preço do carbono atinja um pico pré-determinado. Stavins afirma que o preço desta permissão extra deve ser bem maior que a de mercado para evitar a compra regular desta permissão extra; além disso, o capital arrecadado por este carbono extra que será lançado deve ser reinvestido na redução de emissões de outros gases que não seja o CO₂ ou para comprar as permissões de volta no futuro, pois esta é a única forma de assegurar a efetividade ecológica deste controle de preços.

Outro a fator a considerarmos na análise do método de redução de emissões são as possíveis vantagens de política fiscal que o modelo adotado poderá trazer. Adicionar uma nova taxa ou mesmo uma política regulatória causa, invariavelmente, o aumento da ineficiência do sistema e isso deve ser acrescido no cálculo do custo total de mitigação. No caso da taxa harmonizada, o valor arrecadado pelo Estado pode ser revertido em abatimento no valor de impostos sobre outros bens ou renda, e conseqüentemente a perda de eficiência provocada por uma taxa adicional seria reduzida. Na alternativa *cap-and-trade*, caso as permissões sejam vendidas em leilões públicos, isso representaria uma renda ao governo e colocaria o custo do sistema de cotas ao mesmo nível do imposto. No entanto, em geral as cotas (em especial do mercado de SO₂ americano) são distribuídas aos agentes de forma a diminuir a resistência política ao projeto, sendo assim, se o *cap-and-trade* não gerar receitas para o governo, então não há fontes para serem recicladas no desconto de impostos e a grande perda de eficiência é inevitável.

A busca de novas receitas para o governo através de um imposto sobre as emissões apresenta, além da possibilidade de criação de maior ineficiência, um paradoxo. A taxa é apresentada como uma fonte de recursos tributários, no entanto, se a taxa consegue cumprir seu objetivo de longo prazo (induzir a inovação tecnológica na busca de processos mais amigáveis ao meio ambiente) sua arrecadação será continuamente decrescente.

Além deste paradoxo, algumas desvantagens da taxa harmonizada podem ser colocadas como motivos pela pouca utilização desta política. Muitas vezes, impostos não funcionam corretamente quando o mercado não está funcionando corretamente do ponto de vista competitivo. Por exemplo, no caso de uma empresa monopolística, a aplicação de uma taxa pigouviana sobre as emissões teria como conseqüência direta a transferência do preço adicional aos consumidores. Outra grande deficiência na aplicação dos impostos é a determinação de seu valor correto do ponto de vista de eficiência ambiental, até mesmo na teoria atingir o ponto que iguale os custos e os benefícios de limitar as emissões é complicado. Ademais, alterar o valor de uma taxa pelo simples motivo que anteriormente ela foi fixado abaixo de seu preço ideal incomoda tanto a políticos como as companhias. Sendo assim, deste ponto de

vista, as cotas apresentam uma grande vantagem ao determinar ex-ante o volume de gases que poderá ser emitido em um certo período de tempo.

Em seu artigo “Cap-and-trade or a carbon tax?”, Robert Stavins (2008) lista de maneira objetiva quais seriam, sob seu julgamento, as grandes vantagens do modelo cap-and-trade sobre a taxaço:

*“The key merits of the cap-and trade approach I have proposed are, **first**, the program can provide cost effectiveness, while achieving meaningful reductions in greenhouse gas emissions levels. **Second**, it offers an easy means of compensating for the inevitably unequal burdens imposed by a climate policy. **Third**, it provides a straightforward means to harmonize with other countries’ climate policies. **Fourth**, it avoids the current political aversion in the United States to taxes. **Fifth**, it is unlikely to be degraded — in terms of its environmental performance and cost effectiveness — by political forces. And **sixth**, this approach has a history of successful adoption and implementation in this country (Estados Unidos da América) over the past two decades.”* (Stavins, 2008, pg 1)

De acordo com este parágrafo extraído do artigo de Stavins, o sistema de cotas mesmo sem nenhum ajuste como o *Banking and Borrowing*, discutido anteriormente, cumpre quatro dos oitos pontos analisados por este trabalho, são eles: a eficiência ambiental, uma boa relação de custo benefício, o realismo político e a baixa interferência governamental. Com os ajustes proposto por Stavins (2008), pode ser incluído a estabilidade de preços. Além disso, a arrecadação por parte do Estado também pode ocorrer caso seja garantido a execução de leilões públicos para venda de créditos de carbono.

No entanto, argumenta-se que a utilização de uma taxa apresenta maior flexibilidade diante das incertezas, ou seja, possui a capacidade de se ajustar as novas informações adicionadas nos modelos de análise. De um ano para outro é possível afrouxar ou tornar mais rígido a taxa de maneira a regular precisamente quanto dióxido de carbono será lançado na atmosfera. Entretanto, o trecho extraído do artigo de Stavins aponta para uma forte aversão as taxas. O fato é que ambos os modelos possuem grandes dificuldades em adaptar-se a novas informações, a taxa pela aversão dos

agentes a um novo imposto, e as cotas pelos embaraços das flutuações do preço de produtos que já foram obtidos pelos agentes poluidores, isto é, as empresas que compram as permissões tendem a pressionar o governo para não deflacionar estes preços, caso contrário elas perderão quantias significativas.

Uma primeira característica apresentada no trecho elaborado por Stavins (2008) exposto anteriormente e de grande relevância do modelo defendido pelo autor que não consta nos pontos levantados para análise neste trabalho é a distribuição dos custos da redução, ou seja, como o peso das reduções será repartido entre as indústrias emissoras. A taxa atinge de maneira igual todos os agentes emissores da economia independentemente de sua capacidade de pagar ou de sua posição no mercado. No modelo *cap-and-trade* as permissões estão centralizadas nas mãos das autoridades e pode ser distribuídas (seja na forma de leilões ou não) de uma maneira que não prejudique a competitividade de certos setores produtivos da economia. Esta compensação também poderia existir dentro de um projeto que prime pela aplicação de taxas, no entanto, existe uma grande complexidade na legislação. O uso de cotas evita, portanto, a briga por isenções e abatimentos dentre os setores mais vulneráveis. A segunda importante característica não apresentada nos oito pontos e colocada por autor no trecho é a facilidade com que os países, que já aplicam alguma forma de controle, podem se adaptar a implantação de um projeto global de redução. A grande parte dos países que possuem um sistema de controle de poluição utiliza uma abordagem do tipo quantitativo e não de preços, logo, a implantação de cotas apenas cria uma unidade real de troca denominada em unidades de carbono.

Um ponto de destaque do autor é a possibilidade de intervenção governamental sobre ambos os modelos de intervenção. Segundo o Stavins, nos dois casos há possibilidade do governo de modificar os planos iniciais para atender aos interesses de algum grupo, porém, esta intervenção seria menos nociva no caso do modelo de cotas de carbono:

"...But the key difference is that political pressures on a carbon tax system will most likely lead to exemptions of sectors and firms, which reduces environmental effectiveness and drives up costs — some low-cost emission

reduction opportunities are left off the table. But political pressures on a cap-and-trade system lead to different allocations of allowances, which affect distribution but not environmental effectiveness and not cost-effectiveness."

(Stavins, 2008, pg 1)

A pressão colocada sobre a administração pública no caso da taxa sobre as emissões seria no sentido de buscar reduções ou isenções fiscais, já no caso das cotas de carbono, a pressão estaria focada em alterar a forma como as permissões serão divididas entre os agentes emissores. A grande diferença está nas conseqüências dessa intervenção, enquanto a busca por isenções eleva os custos do programa na medida em que mais agentes são beneficiados com estas isenções, as brigas pela alocação das cotas não eleva os custos e também não altera a efetividade ambiental. Por outro lado, Nigel Lawson (2007) coloca que o modelo *cap-and-trade* apresenta mais brechas para a corrupção, uma vez que este modelo cria artificialmente um produto escasso e um monopólio.

Feita esta análise dos pontos positivo e negativos de cada uma das alternativas, é conveniente voltarmos aos sete pontos levantados no início do capítulo e verificar qual método de mitigação cobre mais amplamente as premissas que caracterizam o modelo mais adaptado às características da economia e do meio ambiente. A tabela abaixo demonstra as peculiaridades de cada modelo, as características do *Cap-and-trade* listada já incluem os mecanismos de redução de incerteza expostos anteriormente.

Figura 5: Quadro Comparativo *Cap-and-trade* e Taxa

Premissas / Modelos	<i>Cap and Trade</i>	Taxa Harmonizada
Eficiência ambiental	x	x
Flexibilidade oferecida diante das incertezas	-	-
Relação custo-benefício	x	x
Estabilidade dos preços do carbono	x	x
Arrecadação do Estado	x	x
Realismo político	x	-
Mínima interferência governamental	-	-

fonte: elaboração própria

Como pode se notar no quadro, a única diferença efetiva entre os dois modelos esta no realismo político das alternativas. O ponto principal para a falta de realismo do imposto harmonizado é a aversão a novas taxas que todos os agentes da economia compartilham. Logo, o debate passa a ser qual das duas alternativas apresenta-se factível não apenas do ponto de vista econômico mas sim do ponto de vista político, a opção adotada deve ser aquela que possibilite a elaboração e implantação de um projeto bem desenvolvido e com o mínimo de distorções entre teoria e realidade, é exatamente isto que afirma Robert Stavins (2008):

"The Hamilton Project staff concluded in an overview paper (which I highly recommend) that a well-designed carbon tax and a well designed cap-and-trade system would have similar economic effects. Hence, the authors say, the two primary questions to use in deciding between them should be which is more

politically feasible and which is more likely to be well designed." (Stavins, 2008, pg 1)

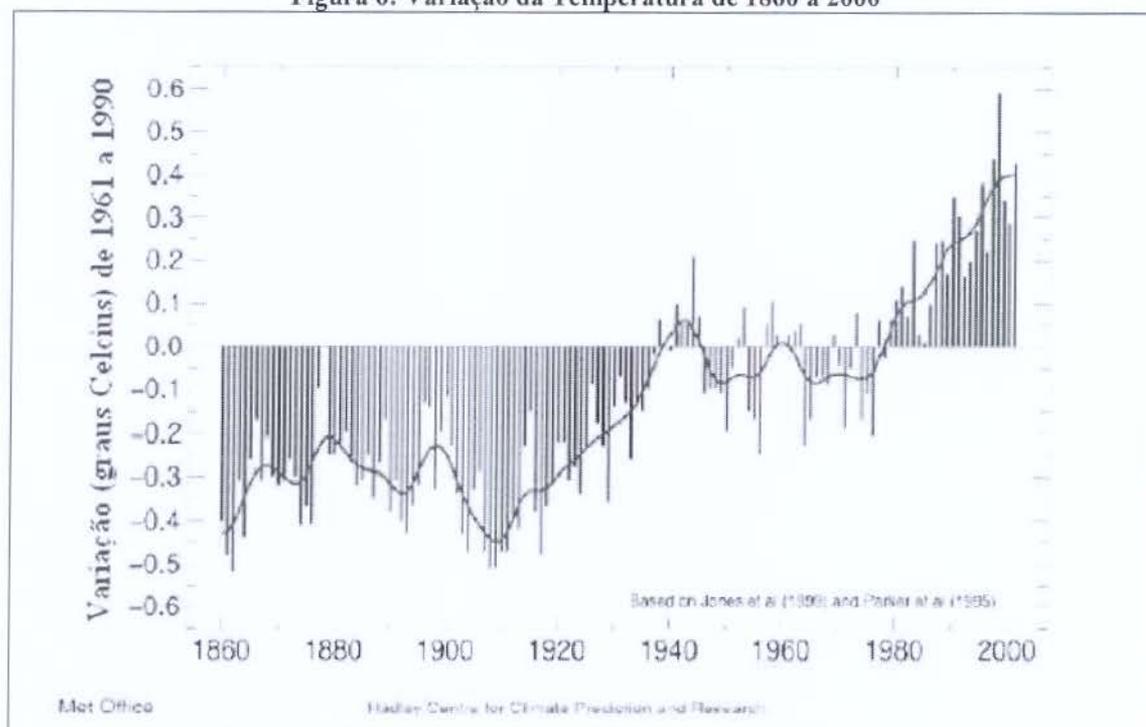
Por fim, a probabilidade de um sistema *Cap and Trade* ser mais bem desenvolvido que o modelo concorrente deriva de sua efetividade ambiental e seu custo não serem alterados a partir de uma influência exógena ao modelo, por exemplo, a interferência governamental. A distribuição inicial das permissões, independentemente se feita através de leilões ou não, não altera a alocação destas permissões após os processos de venda e compra e, portanto, permanece o nível de abatimento e o custo social desta ação. Isto significa dizer que a forma de distribuição das permissões e o preço pago pelas empresas por seus carbonos lançados na atmosfera não estão correlacionados. Desta forma, o sistema de cotas de carbono oferece uma proteção intrínseca às influências políticas. Ao mesmo tempo em que proporciona essa defesa as influências políticas, o modelo destacado apresenta uma resistência política menor. Essa baixa resistência política deriva, como vimos, da não necessidade de implantação de um novo imposto. Além disso, o arranjo institucional necessário já foi em parte criado na implantação do Protocolo de Kyoto, é preciso então aperfeiçoar estes mecanismos para superar as limitações observadas ao longo dos anos e conseguir obter metas de redução na emissão de gás carbônico menos conservadoras.

4. Conclusão

Como pretendemos mostrar ao longo desta exposição, a mitigação das emissões de gases do efeito estufa, os causadores do aquecimento global, envolve problemas de ordem científica, moral, econômica e política

As controvérsias científicas sobre o assunto parte da própria origem do aquecimento. Não há um consenso entre os cientistas envolvidos no debate sobre as origens do aquecimento global. Uma corrente afirma que as emissões e a concentração de CO₂, metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O) e CFC's absorvem parte da radiação infra-vermelha emitida pela superfície do Planeta Terra e refletem essa radiação novamente para a superfície levando a um aumento da temperatura do globo. Por outro lado, a corrente contrária afirma que o processo de aquecimento que o Planeta está passando tem razões que extrapolam a argumentação simplista de concentração de gases. O gráfico abaixo retirado de Veiga e Vale (2007), apresenta um dos principais argumentos a favor dos céticos do aquecimento: há uma clara variação para baixo na temperatura global entre a Segunda Grande Guerra até meados da década de 1970. Essa é justamente o período em que a economia mundial apresentou suas maiores taxas de crescimento global, a chamada "Era de Ouro".

Figura 6: Variação da Temperatura de 1860 à 2000



fonte: Veiga e Vale (2007)

Enfim, como o debate científico não é o foco deste trabalho, assumimos o polêmico Princípio da Precaução ao longo deste trabalho de maneira que se existe a possibilidade do aquecimento global ser provocado pelas ações humanas, alguma medida deve ser tomada para preservar os direitos das gerações futuras, e é exatamente neste ponto do debate que inicia-se os entraves moral e ético do debate.

Primeiramente, a agenda do debate moral engloba a discussão sobre os direitos da geração que habita atualmente a Terra com relação à exploração dos recursos naturais, ou seja, é um problema de ordem intergeracional. O mainstream econômico afirma que a variável determinante das decisões de degradação é o volume de capital final, isto é, a soma do capital construído e do capital natural (recursos naturais). Se houver degradação do meio ambiente, porém em contrapartida, existir um desenvolvimento do capital construído, o volume de capital total estará na mesma ordem que atualmente e os direitos intergeracionais estarão assegurados. O grande problema não contemplado por esta análise são os efeitos retardados que a poluição pode acarretar e, principalmente, a quebra da capacidade do Planeta de restabelecer o equilíbrio

tal como estamos acostumados e os serviços ecossistêmicos que provê e ou não tem como serem reconstituído por capital construído.

Além desta questão entre diferentes gerações, Romeiro (2006) apresenta outro problema ético, o de equidade e justiça na atribuição de responsabilidades aos países nas diferentes alternativas para conter o avanço na concentração dos gases que provocam o aquecimento global. Como foi identificado no primeiro capítulo, existem diferentes maneiras de entender o conceito equidade e em cada um dos entendimentos da palavra há uma gama de interesses políticos envolvidos. Isso porque as responsabilidades atribuídas aos países dependem essencialmente de qual dos conceitos será utilizado.

O problema de ordem econômica constitui o foco principal deste trabalho. O debate envolve primeiramente os resultados obtidos através da utilização de complexos sistemas de avaliação que englobam variáveis das mais diversas naturezas e buscam estimar os custos provocados pela alteração na temperatura média da Terra. Os diferentes modelos, como visto anteriormente, assumem premissas diferentes e utilizam diferentes taxas de desconto para calcular valor o presente, portanto, os custos derivados de cada um dos IAMS apresentam valores distintos e determinam uma certa modalidade de análise.

Além disso, a principal discussão no âmbito econômico esta direcionada à escolha de qual modelo de restrição de emissões mostra-se mais eficiente do ponto de vista econômico e no respeito ao nível de emissão de gases do efeito estufa estabelecido pelos cientistas. Após a determinação dos sete quesitos necessários para um plano de sucesso e a análise dos pontos fortes e das fraquezas de cada uma das alternativas, foi elaborado um quadro comparativo apresentando a similaridade de ambos os projetos. A discussão extrapolou o âmbito econômico, a decisão de qual modelo deve ser adotado é balizada sobre qual das duas alternativas pode ser mais bem implantado, sem desprezar as premissas embutida nos modelos *Cap-and-trade* e no imposto harmonizado.

Por fim, a escolha do programa que mais adapta-se as características da sociedade esta, como vimos, necessariamente ligada às questões políticas. Isto é, não é possível implantar eficientemente um programa de mitigação de emissões se as questões políticas apresentarem-se como obstáculos. O

debate político apresentando no primeiro capítulo deste trabalho serve como uma pequena ilustração da maneira como um acordo, que deve englobar todos os países do mundo é permeado de disputas políticas. A vantagem do modelo de cotas de emissão de carbono esta justamente nessa maior facilidade de contornar os problemas políticos que vão surgindo a partir das fases iniciais de implantação de um projeto que envolve um número bastante elevado de agentes.

O modelo de redução da emissão dos gases do efeito estufa que será adotado pós Protocolo de Kyoto ainda não representa um grande ponto na agenda de discussão da política do aquecimento global. No entanto o momento de tomar esta decisão esta se aproximando. Este trabalho teve como objetivo apresentar as vertentes deste debate em alguns de seus âmbitos, especialmente o econômico. Os argumentos aqui apresentados apontam para o aperfeiçoamento e aprofundamento das medidas tomadas pelo protocolo que entrou em vigor em fevereiro de 2005 e ainda não apresentou grandes resultados. As propostas colocadas no terceiro capítulo do trabalho servem como um guia inicial de quais adaptações o modelo deveria absorver para superar suas fraquezas já expostas nestes quase cinco anos de vigência. É de suma importância também, a resolução dos conflitos políticos estratégicos que mantêm os EUA e os países em desenvolvimento fora das limitações impostas pelo acordo internacional. Este último ponto é exatamente a conclusão obtida após examinadas todas as hipóteses. O modelo adotado para a mitigação das emissões não surgirá apenas do debate teórico entre os acadêmicos, mas essencialmente, das articulações e decisões tomadas por aqueles que detêm o poder de decisão da sociedade.

4.1. Possibilidades de um Modelo Híbrido

Como vimos anteriormente, o debate do modelo mais adequado para atingir as metas de redução proposta pelos cientistas é constituído por uma série de disputas e jogos. A grande parte dos cientistas e ambientalistas vêm com certa desconfiança a aplicação de uma taxa sobre o carbono, pois este

CEDOC - IE - UNICAMP

não impõe um limite quantitativo explícito as emissões ao a concentração na atmosfera.

Dado este apoio dos cientistas e ambientalistas, e a força política do modelo, diversos economistas, incluindo o consagrado William Nordhaus (2008), apresentaram algumas propostas para um modelo que cruze as características de ambas as alternativas analisadas no trabalho. Dentre estes modelos híbridos, o professor Nordhaus destaca o *Cap and Tax*, neste caso, o modelo *Cap-and-trade* é aperfeiçoado através da adição de uma taxa. Por exemplo, os países podem reforçar sua decisão de redução através da aplicação conjunta de restrições e de uma taxa sobre a tonelada de carbono emitido. Além de utilizar os dois modelos juntos, o autor defende a criação de uma espécie de válvula de escape ao sistema de cotas, a qualquer momento, os agentes que ultrapassarem os limites de sua permissão podem pagar uma taxa extra sobre o volume que exceder a cota. É importante lembrar, no entanto, que abrir este tipo de possibilidade aos agentes poluidores pode causar uma grande perda de eficiência ambiental do projeto, sendo assim, o valor a ser fixado para esta taxa deve ser substancialmente alto de modo que as empresas não utilizem este recurso com frequência. A válvula de escape deve ser usada de maneira esporádica caso a empresa não consiga limitar-se a utilização de sua cota devido a algum distúrbio na produção. Isto é, a taxa deve ser alto o suficiente para fazer com que o pagamento deste imposto não faça parte da rotina da produção.

De acordo com o autor que propõe este modelo híbrido, ele compartilha dos pontos fortes e fracos de ambos os modelos originais. Como apresentado anteriormente, a efetividade ambiental é enfraquecida, por outro lado as cotas funcionam como uma medida para fortalecer a confiança dos agentes que estão participando do processo. Algumas, porém não todas, das peculiaridades da taxa harmonizada são transferidas para a alternativa híbrida, o quesito financiamento público seria positivamente influenciado, e a volatilidade do preço do carbono seria menor, bem como a forma dos agentes avaliarem os riscos e incertezas também estariam mais delimitados.

Bibliografia

Philippi Jr, Arlindo; Romério, Marcelo de Andrade & Gilda, Collet Bruna "Curso de Gestão Ambiental" – Barueri, SP: Manole, 2004.

Cairncross, Frances "Meio ambiente: Custos e Benefícios" tradução: Cid Knipel Moreira. São Paulo-S.P. Livraria Nobel S.A.,1992.

Hardin, Garrett "The Tragedy of the Commons," Revista Science, Vol. 162, No.3859, pg1243-1248, Dez 1968.

Disponível em: <http://dieoff.org/page95.htm>

IPCC "*Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*", M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.

Disponível em: <http://www.ipcc-wg2.org>

IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2007.

Disponível em: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>

Lawson, Nigel "The economics and politics of climate change" Centre for policy studies, Nov. 2006.

Nordhaus, William "A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies". New Haven, Yale University Press, EUA, 2008.

Nordhaus, William "The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy". New Haven, Yale University Press, EUA, 2007.

ONU "Humam Development Report 2007/2008" New York, USA, 2007.

Romeiro, Ademar Ribeiro "Economia ou economia política da sustentabilidade?". Texto para discussão. IE/UNICAMP n.102, 2001.

Stavins, Robert N. "A U.S. Cap-and-trade System to Adress Global Climate Change". The Hamilton Project, The Brooking Institution, Harvard University, EUA, 2007.

Stavins, Robert N. (2008) "Cap-and-trade or a carbon tax?". The Environmental Forum, Jan./Feb. 2008.

Stavins, Robert N. (2009) "Wonderful politics of Cap-and-trade". The Environmental Forum, Set./Out. 2009.

Stern, Nicholas "Aspectos Económicos das Alterações Climáticas" Cambridge University Press. Reino Unido, Out. 2006.

Vale, Petterson M. "Carbon pricing instruments – the case for a hybrid approach" Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brazil.

Veiga, José Eli "Iluminando o roteiro para o pós-Kyoto" Valor Econômico, São Paulo - 30/10/2007.

Veiga, José Eli (2007) "Criar juízo é rasgar Kyoto" Valor Econômico, São Paulo - 27/11/2007.

Veiga, José Eli & Vale, Petterson M. “Aquecimento global: um balanço das controvérsias” Texto apresentado na sessão de 7 de Novembro 2007 do ciclo de seminários do Departamento de Economia da FEA/USP intitulado “*Brasil no Século XXI: Desafios do Futuro*”, 2007.

Cline, William R. “The Economics of Global Warming” Institute for international Economics. EUA , 1992.