

O Protocolo de Kyoto*

Eliezer Martins Diniz**

Sumário: 1. Introdução; 2. Desenvolvimento sustentável e as emissões de poluentes; 3. Acordos ambientais e teoria dos jogos; 4. O Protocolo de Kyoto e a posição brasileira; 5. Considerações finais. Palavras-chave: meio ambiente; emissões de poluentes; desenvolvimento sustentável; acordos; coordenação; teoria dos jogos. Códigos JEL: C71, C72, D62 e D74.

Este artigo pretende situar a discussão sobre controle de emissões de poluentes da Conferência sobre Mudança Climática e a assinatura do Protocolo de Kyoto dentro do contexto da literatura econômica relevante. São feitas também considerações sobre a posição brasileira, analisando sua racionalidade econômica e consistência. Argumenta-se que o Protocolo de Kyoto é uma tentativa de se diminuir as emissões de poluentes através do efeito tecnologia. A posição dos países emergentes (e, em especial, a do Brasil) frente ao protocolo assemelha-se ao "dilema do prisioneiro". A solução ótima pode ser atingida através de um acordo de cooperação tecnológica.

In this paper we review the discussions that took place at the United Nations Framework Conference on Climate Change and analyze the Kyoto Protocol and the Brazilian position based on the relevant economic literature. We show the pros and cons of the agreement made so far and consider the future agenda. The Kyoto Protocol stresses the role of the technique effect as a means to curb emissions. The position of the emerging countries is modeled as a "prisoner's dilemma". The optimal solution will be a natural outcome of a technological cooperation agreement.

1. Introdução

No início de dezembro de 1997 assistimos ao desenrolar dos acontecimentos na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada em Kyoto. Dez dias de negociações produziram um documento divulgado na manhã do dia 11, chamado Protocolo de Kyoto. Pretende-se com isso regulamentar o uso de combustíveis fósseis e limitar a emissão de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e três halocarbonos usados como substitutos dos CFCs.

* Artigo recebido em 23-12-1997 e aprovado em 11-5-1998.

** Professor da FEA/RP-USP e doutor em economia pela FEA-USP. Pesquisador associado do McKeever Institute of Economic Policy Analysis (Miepa) e pesquisador da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe). Endereço para correspondência: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (USP). Av. dos Bandeirantes, 3.900 - Monte Alegre - 14040-900 - Ribeirão Preto - SP. e-mail: elmdiniz@usp.br.

De fato, algo precisava ser feito. Estima-se que desde a Revolução Industrial em meados do século XVIII os níveis de dióxido de carbono cresceram 30%, de metano 100% e de óxido nitroso 15%. E o senso comum (*mas não a teoria econômica*) nos diz que o desenvolvimento econômico só pode produzir um agravamento dessa situação. O acordo divulgado mostra que 38 países industrializados se comprometeram a reduzir, em média, 5,2% as emissões do efeito estufa entre 2008 e 2012, com diferenciações entre países. Por exemplo, os Estados Unidos se comprometeram a uma redução de 6%, o Japão a 5%, a Europa a 8%, o Canadá a 6%. Alguns países dependentes de combustíveis fósseis obtiveram permissão para aumentar suas emissões, como, por exemplo, Islândia (10%), Austrália (8%) e Noruega (1%).

A posição dos países em desenvolvimento foi a de não aceitar nenhuma meta quantitativa para as emissões. O Brasil, importante por deter boa parte das florestas que agem como sumidouros para absorção das emissões de dióxido de carbono, esteve inflexível quanto à sua recusa em negociar quaisquer metas para as emissões. Sua posição pode ser retratada na afirmação divulgada pelo Ministério das Relações Exteriores de que o protocolo “*reflete os interesses do Brasil*” e “*não contém nenhum compromisso mandatário de redução de emissões por parte dos países em desenvolvimento, que poderia representar um entrave ao crescimento econômico essencial à criação de melhores condições de vida para suas populações*”. Ou, nas palavras do embaixador Antonio Augusto Dayrel de Lima, “*os países desenvolvidos, que são os responsáveis pela maior parte das emissões dos gases do efeito estufa do planeta, precisam enfrentar de forma inequívoca suas responsabilidades de reduzir as emissões num montante apropriado para se evitar as graves conseqüências da mudança climática*”, e também que “*seria injusto, irrealista, não-científico e pouco político insistir nesse conceito de partilha do fardo (de redução das emissões) com os países pobres*”. Segundo Rubens Harry Born, da organização não-governamental Vitae Civilis, a posição brasileira guarda um ponto de semelhança com a americana ao refletir “*essa mesma abordagem econômica do problema, em lugar de uma abordagem voltada para o desenvolvimento sustentável*”. O país propôs, no entanto, a criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, para transferir tecnologias menos poluidoras para as nações menos desenvolvidas.

Nosso propósito é avaliar os objetivos da reunião em Kyoto e a posição brasileira com base no que a literatura econômica nos ensina sobre desenvolvimento sustentável e sua relação com a poluição.

2. Desenvolvimento Sustentável e as Emissões de Poluentes

As emissões de poluentes podem ser encaradas como fluxos que refletem acréscimos ao estoque de poluição existente P . Se fossem eliminadas as emissões de todo tipo, esse estoque convergiria para um valor P^* , que levaria muito tempo para diminuir (uma vez que poluentes podem permanecer no ar por um século ou mais). Pode-se, por isso, considerar P^* constante, e o ajuste do estoque é dado por

$$P_t = P_{t-1} + E_t + N + \delta(P^* - P_{t-1})$$

onde E representa o fluxo de emissões, N o fluxo mínimo de emissões no sistema não causadas pelo homem, e δ a velocidade de ajuste do estoque rumo ao valor de equilíbrio. A necessidade de se promover um ajuste na situação descrita com o fito de combater o efeito estufa mostra que a única variável passível de controle é o fluxo de emissões.

Suponha que no mundo existam N países e K setores industriais. As emissões de poluentes podem ser descritas em um dado instante por

$$E_y = \sum_{p=1}^N \sum_{i=1}^K a_{pi} f_{pi} s_i Y$$

onde Y é o produto total mundial, s_i é a parcela do produto do setor i no total mundial, f_{pi} é a participação do país p na produção mundial do setor i , e a_{pi} é a parcela do fluxo de emissões de poluentes do país p em relação ao seu produto no setor i . O propósito de um protocolo sobre o clima deve ser manter o fluxo de emissões ou mesmo diminuí-las. Logo, a análise deve ser feita em termos de taxas de variação. Diferenciando a expressão acima e rearranjando os termos, obtemos

$$\hat{E}_y = \hat{Y} + \sum_{p=1}^N \sum_{i=1}^K \lambda_{pi} \hat{a}_{pi} + \sum_{p=1}^N \sum_{i=1}^K \lambda_{pi} \hat{f}_{pi} + \sum_{p=1}^N \sum_{i=1}^K \lambda_{pi} \hat{s}_i$$

onde λ_{pi} é a parcela das emissões do setor i do país p no total. As variáveis com o acento circunflexo indicam taxas de variação. Com base na expressão, podemos distinguir quatro efeitos que impactam sobre o fluxo de emissões de poluentes no mundo:

- a) *efeito escala*: reflete o impacto do crescimento do produto no mundo sobre as emissões de poluentes;
- b) *efeito tecnologia*: reflete o impacto de mudanças tecnológicas que alteram a proporção das emissões no produto;
- c) *efeito composição entre países*: reflete alterações na parcela correspondente a cada país no produto do setor i ;
- d) *efeito composição entre setores*: reflete mudanças na fração do setor i no produto mundial.

Os efeitos estão descritos na ordem em que aparecem na expressão acima. Devemos notar que: o efeito escala sempre aumenta as emissões; o efeito tecnologia pode diminuir as emissões ao se adotar tecnologias menos poluidoras (resultando em $\hat{a}_{pi} < 0$); o efeito composição entre países pode diminuir as emissões ao se aumentar a fração do produto do setor i para os países menos poluidores; o efeito composição entre setores pode diminuir as emissões ao se aumentar a participação dos setores menos poluidores; o efeito composição sempre envolve pelo menos dois países (em (c)) ou dois setores (em (d)), enquanto o efeito tecnologia pode ser resultado do esforço de um só país em um único setor.

Como resultado da análise acima, vemos que a idéia de que o desenvolvimento produz *sempre* conseqüências danosas ao ambiente é falsa. Isso só seria verdadeiro se não houvesse introdução de novas tecnologias menos poluidoras e se a fatia do produto pertencente a cada país e a cada setor permanecesse constante, hipóteses completamente em desacordo com os fatos do mundo real.

Os dados referentes a países hoje desenvolvidos mostram que as emissões de poluentes guardam com o desenvolvimento econômico uma relação como uma curva U invertida: até um determinado momento, as emissões aumentam, decaindo em seguida. O ponto de emissão máxima varia para cada tipo de poluente. Logo, não se verifica empiricamente a predominância do efeito escala, e a análise acima é relevante. Uma outra interpretação possível para os resultados empíricos seria a de que os países, ao atingirem um grau mais alto de desenvolvimento, delegariam a terceiros a produção de bens cujo processo produtivo seja altamente poluidor, o que elevaria o preço de tais bens e estimularia a produção dos mesmos por países pobres. Grossman (1995) possui a primeira posição, enquanto Saint-Paul (1995) adverte para a segunda possibilidade.

As curvas estimadas por Grossman revelam, no entanto, uma das causas da tentativa de acordo: enquanto para a maioria dos tipos de poluição foi possível detectar o ponto a partir do qual as emissões diminuem, para outros os resultados não se verificam e não são robustos, havendo um crescimento contínuo das emissões. Entre essas exceções estão o dióxido de carbono e os óxidos nitrosos, responsáveis pelo efeito estufa. Logo, o mero desenvolvimento econômico não contribui para a eliminação do problema, e um acordo se torna necessário para forçar a diminuição das emissões.

3. Acordos Ambientais e Teoria dos Jogos

Uma negociação que envolva a diminuição das emissões de poluentes com base nas considerações da seção anterior terá como forma natural de modelagem a teoria dos jogos. Para isso, precisamos estudar quais são os agentes, que fatores afetam seu bem-estar e quais as estratégias disponíveis.

Consideramos dois agentes. O primeiro é chamado bloco dos países desenvolvidos (e será identificado pela letra D) e o segundo é o bloco dos países emergentes (identificado pela letra E). Supomos que o mundo, M , é formado por D e E , isto é,

$$M = \{D, E\}$$

Uma função de bem-estar é definida para cada bloco e é função da estratégia s . As estratégias disponíveis para cada agente i são duas: aderir ao acordo ($s_i = 1$) ou se recusar a fazer acordo ($s_i = 0$). Logo, cada agente possui o mesmo conjunto possível de estratégias, isto é, $s_i \in \{0, 1\}$. Temos $s = (s_D, s_E)'$, e, portanto, $s \in \{0, 1\} \times \{0, 1\}$. A função de bem-estar mundial é assumida como

$$W(s) = \sum_{p \in M} W^p(s)$$

isto é, uma função linear, com o bem-estar de um bloco não afetando o do outro. A função de bem-estar mundial é dada por

$$W = \alpha(s_D + s_E) - \beta(s_D + s_E) - \gamma(2 - s_D - s_E)$$

que possui o seguinte sentido econômico: $\alpha(s_D + s_E)$ representa o ganho em bem-estar proporcionado por um acordo ambiental; $\beta(s_D + s_E)$ é o custo incorrido ao se executar o acordo; e $\gamma(2 - s_D - s_E)$ é o prejuízo provocado pela

poluição quando não se faz acordo com todos os agentes. Para se compreender como é a função de bem-estar de cada agente, é preciso lembrar que o ganho em bem-estar e o prejuízo da poluição são compartilhados igualmente por todos, enquanto o custo de execução é individual. Logo, as funções de bem-estar dos agentes são dadas por

$$W^E = (\alpha/2)(s_D + s_E) - \beta s_E - (\gamma/2)(2 - s_D - s_E)$$

para os países emergentes e por

$$W^D = (\alpha/2)(s_D + s_E) - \beta s_D - (\gamma/2)(2 - s_D - s_E)$$

para os desenvolvidos. Temos $\alpha > 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

O jogo entre os países desenvolvidos e os emergentes no que tange ao acordo ambiental pode ser esquematizado em sua forma estratégica através de uma matriz de ganhos dada por

		Países emergentes	
		acordo	recusa
Países desenvolvidos	acordo	$(\alpha - \beta, \alpha - \beta)$	$(\frac{\alpha - \gamma}{2} - \beta, \frac{\alpha - \gamma}{2})$
	recusa	$(\frac{\alpha - \gamma}{2}, \frac{\alpha - \gamma}{2} - \beta)$	$(-\gamma, -\gamma)$

onde para cada célula da matriz temos (W^D, W^E) para a situação considerada. A soma em cada célula fornece o bem-estar mundial. Considere a seguinte notação: W_{de}^D e W_{de}^E simbolizam o bem-estar dos países desenvolvidos e emergentes, respectivamente, quando as estratégias seguidas foram $s_D = d$ e $s_E = e$. De posse dos resultados acima podemos ver que

$$W_{11} \geq W_{10} = W_{01} > W_{00}$$

isto é, o bem-estar mundial é maior quando os dois agentes fazem o acordo. Para as funções de bem-estar individual temos

$$W_{10}^E \geq W_{01}^E > W_{00}^E$$

para os países emergentes e

$$W_{01}^D \geq W_{10}^D > W_{00}^D$$

para os desenvolvidos. No entanto, a comparação entre W_{11}^E e W_{10}^E não produz resultados inequívocos, bem como a comparação entre W_{11}^D e W_{01}^D . Ambos dependem do sinal do bem-estar marginal proporcionado pela própria adesão ao acordo. Temos

$$W_{11}^E - W_{10}^E = \frac{\partial W^E}{\partial s_E}$$

e

$$W_{11}^D - W_{01}^D = \frac{\partial W^D}{\partial s_D}$$

onde

$$\frac{\partial W^E}{\partial s_E} = \frac{\partial W^D}{\partial s_D} = \frac{\alpha + \gamma}{2} - \beta$$

onde a igualdade se deve à simetria entre os agentes. Se a derivada parcial for positiva, então teremos $W_{11}^E > W_{10}^E$ e $W_{11}^D > W_{01}^D$, fazendo com que a melhor solução em nível individual coincida com o ótimo em nível coletivo. De fato, tal opção está de acordo com a racionalidade econômica, uma vez que a derivada parcial positiva significa que os ganhos marginais de bem-estar ao se fazer o acordo $((\alpha + \gamma)/2)$ superam o custo marginal dessa decisão (β) .

O problema ocorre quando a derivada parcial for negativa, pois isso faz com que o melhor em nível individual seja subótimo em nível mundial. Temos que $W_{10}^E > W_{11}^E$ e $W_{01}^D > W_{11}^D$, o que incentiva um comportamento do tipo *caronista*, com um bloco de países signatários do acordo e o outro que apenas usufrui dos benefícios sem arcar com nenhum ônus. Essa é uma versão do conhecido *dilema dos prisioneiros*.

Voltemos à situação que desejamos analisar. O comportamento dos países desenvolvidos ao entrar na Conferência sobre Mudança Climática já era esperado: eles procurariam assinar um acordo de qualquer forma, e só necessitariam discutir o quanto cada componente iria ceder de suas posições iniciais. *Uma vez que já estava fixada a estratégia dos desenvolvidos, os países emergentes optaram por assumir a posição de caronas.* Admitindo que os agentes são racionais, infere-se que eles avaliaram os custos superiores aos ganhos. Logo, a atitude dos países emergentes leva a um subótimo para a economia como um todo. Esta análise explica por que os desenvolvidos fizeram uma certa pressão desde o início da Conferência para que os demais países se comprometessem a metas quantitativas bem definidas, o que não ocorreu.

No entanto, uma nova rodada de negociações será iniciada mediante a proposta de que haja um Fundo de Desenvolvimento Limpo, com o fito de

facilitar a transferência de tecnologia menos poluidora para os países emergentes e permitir que eles cresçam sem repetir o padrão de uso de derivados de petróleo e carvão dos países industrializados. A questão a ser colocada é a seguinte: Esse fundo pode levar a economia mundial a sair do resultado subótimo? Se afirmativo, sob quais condições?

Considere agora uma situação inicial em que um grupo de países signatários forma uma coalizão estável. O objetivo das negociações passa a ser o aumento do número de países que fazem parte dessa coalizão. Carraro & Siniscalco (1995), analisando as várias formas pelas quais se pode aumentar uma coalizão, concluem que negociações ambientais que sejam casadas à cooperação na área de pesquisa e desenvolvimento tendem a eliminar o incentivo ao comportamento caronista, uma vez que introduzem uma externalidade positiva que pode ser usufruída somente pelos novos signatários, mudando os *payoffs* do jogo acima.

Para a nossa análise, teríamos uma alteração na função de bem-estar dos países emergentes, que passaria a ser

$$W^E = (\alpha/2)(s_D + s_E) - \beta s_E - (\gamma/2)(2 - s_D - s_E) + \delta s_E \quad \delta > 0$$

onde o último termo simboliza o impacto positivo sobre o bem-estar dos países emergentes da transferência de tecnologia menos poluidora. A função bem-estar mundial passa a ser

$$W = \alpha(s_D + s_E) - \beta(s_D + s_E) - \gamma(2 - s_D - s_E) + \delta s_E$$

A matriz de ganhos nesse novo jogo passa a ser

		Países emergentes	
		acordo	recusa
Países desenvolvidos	acordo	$(\alpha - \beta, \alpha - \beta + \delta)$	$(\frac{\alpha - \gamma}{2} - \beta, \frac{\alpha - \gamma}{2})$
	recusa	$(\frac{\alpha - \gamma}{2}, \frac{\alpha - \gamma}{2} - \beta + \delta)$	$(-\gamma, -\gamma)$

Recapitulando a situação, temos uma coalizão de países desenvolvidos signatários de um acordo de redução de emissões de poluentes. Uma vez que sua estratégia é previsível (*acordo*), há um interesse em se aumentar a coalizão através de fundos que facilitem a transferência de tecnologias menos

poluidoras, eliminando o comportamento caronista. Logo, o pressuposto nesta parte é o de que

$$\frac{\partial W^E}{\partial s_E} < 0 \iff \alpha - \beta < \frac{\alpha - \gamma}{2}$$

o que teria induzido o comportamento caronista no jogo anterior. Por isso, a condição para que o acordo se estenda a todos os países é

$$\delta > \left| \frac{\partial W^E}{\partial s_E} \right|$$

isto é, o ganho marginal em bem-estar pela transferência de novas tecnologias menos poluidoras deve ao menos cobrir o excesso de custos sobre benefícios de se tomar a decisão de assinar o acordo.

Concluimos, portanto, que ao atrelar a negociação do acordo a uma transferência de tecnologia torna-se possível eliminar o comportamento caronista e atingir a solução cooperativa com máximo de bem-estar para a economia mundial, desde que a cooperação tecnológica seja suficientemente compensadora para os países emergentes. O nível de bem-estar mundial atingido através desse segundo jogo é maior do que o que seria obtido pela cooperação no primeiro jogo.

4. O Protocolo de Kyoto e a Posição Brasileira

De posse desse instrumental de análise simples, podemos tecer algumas considerações sobre o acordo firmado.

A reunião se destinou a buscar um acordo no que tange ao *efeito tecnologia*. Acordos envolvendo os efeitos composição seriam muito mais difíceis, seja devido a um padrão de consumo da população aproximadamente fixo (o que dita uma composição do produto entre setores relativamente constante), seja por causa da soberania de cada país em escolher o que produzir e em qual quantidade (inviabilizando um acordo que ditaria que parcela do mercado de um produto se destina a cada país, com base em seu interesse ambiental). Além disso, um alto grau de cooperação entre os países seria necessário para se obter um resultado confiável.

A introdução de tecnologias menos poluidoras é o que estava em jogo em Kyoto. A procura de um acordo envolvendo vários países se deve a uma

avaliação não somente da urgência do problema que afeta a todos, mas principalmente da necessidade de cooperação para se obter uma solução que é a melhor em termos de bem-estar.

A posição dos países em desenvolvimento como um todo e do governo brasileiro em particular parece encarar a questão como um dilema do prisioneiro. No fundo, há uma desconfiança no que tange à capacidade de se impor o cumprimento do acordo por todos (*enforcement*). Por causa disso, o acordo não possui credibilidade. Então, ao invés de o país se comprometer a metas quantitativas, o país assume o papel de carona, uma vez que se houver benefícios eles se estendem a todos. No entanto, a solução cooperativa, com todos se comprometendo e efetivamente cumprindo suas metas, é a que produz um maior bem-estar para o mundo como um todo. E é a única que pode forçar a diminuição dos gases que provocam o efeito estufa, uma vez que para eles aparentemente predomina o efeito escala.

A posição brasileira é frágil quando se avalia a nota oficial a respeito do acordo. Uma falha refere-se à confusão entre preocupação ambiental e perda de soberania nacional. E outra é a avaliação do bem-estar sem levar em conta o fator poluição, que impacta negativamente sobre a saúde da população (isto é, assumiria $\gamma = 0$ na análise anterior).¹

Apesar da argumentação deficiente, a posição estratégica do Brasil ao defender um fundo de transferência de tecnologias menos poluidoras é acertada, pois é a que tem maiores chances de levar os participantes do jogo a uma solução cooperativa com um acordo em nível mundial sobre emissões de poluentes.

5. Considerações Finais

A procura de um acordo por parte dos 159 países participantes da Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas é algo louvável e seu princípio está de acordo com o que a teoria econômica tem a dizer sobre o assunto. Sua ênfase sobre a introdução de tecnologias menos poluidoras é a mais acertada, não ferindo a soberania nacional. A não-adesão por parte dos

¹ Também é ressaltada em demasia a idéia de que os países desenvolvidos são os maiores poluidores. No entanto, tal sentimento não pode de forma alguma gerar uma reivindicação para que países emergentes elevem suas emissões, pois isto somente revelaria que o interesse brasileiro na verdade consiste em assumir a produção de bens que geram alto índice de poluição, confirmando a suspeita de Saint-Paul (1995).

países em desenvolvimento e o não-comprometimento com metas quantitativas reduz os benefícios finais. Não é possível saber com certeza se a posição adotada se dá por má compreensão do fenômeno, por falta de credibilidade do acordo, ou por um desejo de produzir internamente no futuro bens cujo processo produtivo seja altamente poluidor (e que os países ricos não desejariam mais produzir internamente). Aparentemente, a posição brasileira se pauta pelo raciocínio correto de que há um dilema de prisioneiros e a única saída para levar a economia ao ótimo global seria através de um acordo de transferência tecnológica. Isso leva a uma expectativa otimista de que em futuras reuniões a coalizão em favor do meio ambiente irá aumentar.

Referências Bibliográficas

Carraro, Carlo & Siniscalco, Domenico. Policy coordination for sustainability: commitments, transfers, and linked negotiations. In: Goldin, Ian & Winters, L. Alan (eds.). *The economics of sustainable development*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p. 264-82.

Grossman, Gene M. Pollution and growth: what do we know? In: Goldin, Ian & Winters, L. Alan (eds.). *The economics of sustainable development*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p. 19-46.

O Estado de S. Paulo, vários números.

Our Precious Planet. *Time*, Nov. 1997. (Special Issue.)

Saint-Paul, Gilles. Discussion. In: Goldin, Ian & Winters, L. Alan (eds.). *The economics of sustainable development*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p. 47-50.